



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

FUGA DE GAS Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA LÍNEA DE  
TRANSMISIÓN DE GAS NATURAL EN EL DISTRITO DE CHILCA

**Línea de investigación:**

**Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva**

Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería Ambiental

**Autor:**

Olaza Chacón, Jhonny Domingo

**Asesora:**

Esenarro Vargas, Doris  
(ORCID: 0000-0002-7186-9614)

**Jurado:**

Naupay Vega, Marlitt Florinda  
Pumaricra Padilla, Raúl Valentín  
Carrillo Balceda, Jesús Elías

**Lima - Perú**

**2021**

**Referencia:**

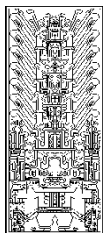
Olaza, J. (2021). *Fuga de gas y la contaminación ambiental en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5838>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**Universidad Nacional  
Federico Villareal**

**Vicerrectorado de  
INVESTIGACIÓN**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**FUGA DE GAS Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA LÍNEA DE  
TRANSMISIÓN DE GAS NATURAL EN EL DISTRITO DE CHILCA**

**Línea de investigación  
Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva**

Tesis para optar el Grado Académico de  
Maestro en Ingeniería Ambiental

**Autor**

Olaza Chacón, Jhonny Domingo

**Asesor**

Esenarro Vargas, Doris  
(ORCID: 0000-0002-7186-9614)

**Jurado**

Naupay Vega, Marlitt Florinda  
Pumaricra Padilla, Raúl Valentín  
Carrillo Balceda, Jesús Elías

**Lima - Perú**

**2021**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Zulema Chacón de Olaza, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre Domingo Olaza Montes, a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para tí como lo es para mí.

A mis hijos Jhonny Patrick Olaza Velazco, André Didier Olaza Velazco, Daniel Jickael Olaza Velazco, Rodrigo Gerard Olaza Eguren y Ana Paula Olaza Eguren.

### **Agradecimiento**

A todos mis profesores que tuvieron a bien enseñarme en mis estudios de maestría.

Gracias a dios todo poderoso por ser la fuente de fortaleza en la culminación de mi tesis.

me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi madre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar la tesis y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>ii</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de figura .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de ecuación .....</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>viii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>ix</b>
<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	4
1.2 Descripción del problema .....	5
1.3 Formulación del problema.....	7
1.3.1 Problema general.....	7
1.3.2 Problemas específicos.....	7
1.4 Antecedentes.....	7
1.5 Justificación de la investigación .....	14
1.6 Limitaciones de la investigación .....	16
1.7 Objetivos.....	16
1.7.1 Objetivo general.....	16
1.7.2 Objetivos específicos.....	16
1.8 Hipótesis .....	17
1.8.1 Hipótesis general.....	17
1.8.2 Hipótesis específica.....	17
<b>II. Marco teórico.....</b>	<b>20</b>
2.1 Marco conceptual .....	20
<b>III. Método.....</b>	<b>66</b>
3.1 Tipo de investigación.....	66
3.2 Población y muestra.....	66
3.3 Operacionalización de variables .....	74
3.4 Instrumentos .....	77
3.5 Procedimientos .....	83
3.6 Análisis de datos.....	87
3.7 Consideraciones éticas.....	87

<b>IV.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>88</b>
V.	Discusión de resultados.....	120
VI.	Conclusiones .....	127
VII.	Recomendaciones.....	128
VIII.	Referencias .....	129
IX.	Anexos .....	138
	Anexo A: Matriz de consistencia .....	138
	Anexo B: Panel de fotos.....	139
	Anexo C: Norma ASME B31 8-2003 .....	143
	Anexo D Procedimiento P-COO-025.....	149
	Anexo E: Procedimiento P-COO-026.....	151

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Componentes típicos del gas natural</i> .....	31
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades físicas y químicas del gas natural</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Problemas que se pueden presentar en las soldaduras</i> .....	45
<b>Tabla 4</b> <i>Secciones longitudinales del gasoducto</i> .....	72
<b>Tabla 5</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	75
<b>Tabla 6</b> <i>Ubicación de los postes de medición en el gasoducto</i> .....	84
<b>Tabla 7</b> <i>Volumen de gas natural que ingresa al gasoducto</i> .....	90
<b>Tabla 8</b> <i>Volumen de gas natural que sale del gasoducto</i> .....	91
<b>Tabla 9</b> <i>Emisión de gas natural al medio ambiente</i> .....	92
<b>Tabla 10</b> <i>Deformaciones en las uniones soldadas</i> .....	97
<b>Tabla 11</b> <i>Fisuras en las uniones soldadas</i> .....	98
<b>Tabla 12</b> <i>Fisuras en las paredes del gasoducto</i> .....	99
<b>Tabla 13</b> <i>Poros en las uniones soldadas</i> .....	100
<b>Tabla 14</b> <i>Poros en las paredes del gasoducto</i> .....	101
<b>Tabla 15</b> <i>Defecto en los sellos de las válvulas</i> .....	104
<b>Tabla 16</b> <i>Defectos en los asientos de las válvulas</i> .....	105
<b>Tabla 17</b> <i>Defectos en los manómetros</i> .....	107
<b>Tabla 18</b> <i>Manipulación indebida de las válvulas</i> .....	112
<b>Tabla 19</b> <i>Manipulación indebida de los manómetros</i> .....	114
<b>Tabla 20</b> <i>Manipulación indebida de los postes</i> .....	116



## Índice de figura

<b>Figura 1</b> <i>Línea de transferencia del gas natural, tramo 1</i> .....	68
<b>Figura 2</b> <i>Línea de transferencia del gas natural, tramo 2</i> .....	69
<b>Figura 3</b> <i>Línea de transferencia del gas natural, tramo 3</i> .....	70
<b>Figura 4</b> <i>Línea de transferencia del gas natural, tramo 4</i> .....	71
<b>Figura 5</b> <i>Formato para el registro de la inspección del gasoducto</i> .....	79
<b>Figura 6</b> <i>Formato para el registro de la inspección de las uniones defectuosas</i> .....	80
<b>Figura 7</b> <i>Formato para el registro de la inspección de las válvulas instaladas</i> .....	81
<b>Figura 8</b> <i>Formato para el registro de la inspección del gasoducto</i> .....	82
<b>Figura 9</b> <i>Inspección de las válvulas extremas de la línea de transmisión del gas natural</i> ....	90
<b>Figura 10</b> <i>Prueba de los postes</i> .....	96
<b>Figura 11</b> <i>Inspección de las lecturas de las válvulas</i> .....	103
<b>Figura 12</b> <i>Inspección de las actividades antropogénicas</i> .....	111
<b>Figura 13</b> <i>Emisión de gas natural al medio ambiente</i> .....	117

## Índice de ecuación

<b>Ecuación 1</b> <i>Ecuación universal de los gases ideales</i> .....	27
<b>Ecuación 2</b> <i>Factor de compresibilidad de los gases</i> .....	28
<b>Ecuación 3</b> <i>Energía interna de un gas ideal</i> .....	28
<b>Ecuación 4</b> <i>Conservación de la masa</i> .....	29
<b>Ecuación 5</b> <i>Transferencia convectiva de masa</i> .....	30
<b>Ecuación 6</b> <i>Conversión del gas natural en un gas de efecto invernadero</i> .....	30

## Resumen

La presente investigación, tuvo como objetivo determinar en qué medida la fuga de gas natural, tiene efecto ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca. La investigación fue aplicada, de un nivel descriptivo y explicativo, para su desarrollo se empleó la metodología de la Norma ASME B31 8-2003, además de los Procedimientos I-MAN-322, P-COO-025, P-COO-026 y, P-COO-015. También se empleó la Norma API 6D y Procedimiento S-DIO-30. Los resultados muestran que la emisión mensual de gas natural hacia el medio ambiente, procedente de la línea de transmisión de gas natural, esta *fuga de gas natural*, incide directamente en la contaminación ambiental, al ser el metano (CH<sub>4</sub>), el componente principal del gas natural. Es necesario recordar que, el CH<sub>4</sub> es 23 veces más nocivo que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ambos Gases de Efecto Invernadero (GEI). La investigación concluye que, existe contaminación ambiental producida por la fuga de gas natural en la línea de transmisión del distrito de Chilca, originada por las actividades antropogénicas realizadas por las operaciones de monitoreo, supervisión y mantenimiento del gasoducto. Esta manipulación indebida se da en la válvula N° 8, provocando la emisión de 155,81 m<sup>3</sup> mensuales de gas natural.

**Palabras clave:** gas natural, gasoducto, uniones soldadas, válvulas instaladas, actividades antropogénicas.

### **Abstract**

The objective of this research was to determine to what extent the natural gas leak has an environmental effect on the transmission line of the Chilca district. The research was applied, of a descriptive and explanatory level, for its development the methodology of the ASME B31 8-2003 Standard was used, in addition to Procedures I-MAN-322, P-COO-025, P-COO-026 and , P-COO-015. The API 6D Standard and Procedure S-DIO-30 were also used. The results show that the monthly emission of natural gas into the environment, from the natural gas transmission line, this natural gas leak, directly affects environmental pollution, as methane (CH<sub>4</sub>) is the main component of the natural gas. It is necessary to remember that CH<sub>4</sub> is 23 times more harmful than carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), both Greenhouse Gases (GHG). The investigation concludes that there is environmental contamination produced by the leakage of natural gas in the transmission line of the Chilca district, caused by the anthropogenic activities carried out by the monitoring, supervision and maintenance of the gas pipeline. This improper manipulation occurs at valve No. 8, causing the emission of 155.81 m<sup>3</sup> of natural gas per month.

**Keywords:** natural gas, gas pipeline, welded joints, valves installed anthropogenic activities.

## I. Introducción

La contaminación ambiental, indica la presencia de un agente, físico, químico o biológico, en cualquiera de sus formas y concentraciones, siendo estos, responsables de los efectos nocivos para la salud y la seguridad, tanto para el ser humano, como para la flora y fauna, presente en la zona de influencia del agente causante.

El gas natural es conducido por la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, la línea de transmisión tiene una longitud de 3,315 km (100 m dentro de la estación de control y 3,215 km del gasoducto, propiamente dicho), presentando algunos tramos, costa afuera, y otros tramos enterrados, y durante todo ese trayecto, existe siempre la posibilidad de una fuga de gas natural.

El gas natural, es un *gas real* (con propiedades intrínsecas a su estado molecular), que puede ser estudiado como un *gas ideal* (presenta un comportamiento ideal), es decir, se comporta según la ley de los gases ideales, que es, una ecuación de estado simplificada. El gas natural, viaja por el gasoducto, y para tal efecto, está comprimido, es decir, tiene una alta presión interna, lo cual aumenta las probabilidades de que, en caso de una fuga y posterior explosión, sus efectos sean multiplicados, por el aumento de su energía interna.

El componente principal del gas natural es el metano ( $\text{CH}_4$ ), identificado como un Gas de Efecto Invernadero (GEI), relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra, cuyo poder de calentamiento es 23 veces más que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Un GEI, tiene un efecto múltiple de contaminación, altera la composición química natural del aire, ocasionando daños irreversibles al ecosistema, en consecuencia, una fuga de gas natural, sería el causante de esta vil acción, que por sí sola no tiene efecto alguno, sino, que siempre existe un responsable para la fuga de gas, y esta debe ser identificada en las acciones predictivas, preventivas, o, correctivas, de inspección y mantenimiento.

La presente investigación, basada en la preocupación de la contaminación ambiental, causada por la fuga de gas natural en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, ha tenido como objetivo principal, el determinar en qué medida la fuga de gas incide en la contaminación ambiental en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. Así mismo presentó los objetivos específicos: 1) Determinar en qué medida las uniones defectuosas del gaseoducto inciden en la contaminación ambiental en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, 2) Determinar en qué medida las válvulas instaladas defectuosas inciden en la contaminación ambiental en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, y, 3) Determinar en qué medida las actividades antropogénicas inciden en la contaminación ambiental en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

La Forma de desarrollar la presente investigación, fue la siguiente: 1) recorrido de los 3,315 km de la línea de transmisión de gal natural; 2) inspección visual de las válvulas de la línea de transmisión, ubicadas en ambos extremos, empleando las ecuaciones de Lomonósov - Lavoisier, se determina que, si existe fuga de gas natural, en consecuencia, esta tiene un efecto ambiental; 3) inspección visual de las uniones del gasoducto, mediante la prueba de los postes, aplicando la Norma ASME B31 8-2003, que, para medir la diferencia de potencial, para poder determinar la deformación en las uniones soldadas, los resultados demostraron que no había deformación en las uniones soldadas, tampoco presentaba fisuras en las uniones soldadas, no presentaba fisuras en el gasoducto, no presentaba poros en las uniones soldadas, ni, poros en el gasoducto; 4) inspección visual en las válvulas instaladas, a través de la revisión de los manómetros de las válvulas del gasoducto, aplicando la norma API 6D, para poder verificar el mal estado de conservación de las válvulas, los resultados demostraron que, los sellos de las válvulas no presentaban defectos, los asientos de las válvulas no presentaban defectos, y que, tampoco, los manómetros no presentaban defectos; 5) inspección visual de las actividades de los operarios de monitoreo y mantenimiento del gasoducto, aplicando la Norma ASME 2003,

los resultados demostraron que, no había una manipulación indebida de los manómetros de las válvulas, tampoco, había una manipulación indebida de los postes, y que, sí había una indebida manipulación en la válvula N° 6, la cual era el medio por el cual, se presentaba la fuga de gas natural en la línea de transmisión del distrito de Chilca, y como consecuencia de ello, contaminaba la zona de influencia.

Las condiciones para realizar la presente investigación, consistió en contar con un par de experto en fuga de gas en gasoductos, personal que acompañó en todo el trayecto del recorrido visual de los 3,315 km de la línea de transmisión de gas natural; además de contar con el equipo de protección personal, de acuerdo a los protocolos de seguridad de la empresa.

Los resultados de la presente investigación, permitirá beneficiar a: 1) al medio ambiente, porque, la empresa deberá tomar medidas correctivas, para dejar de contaminar el medio ambiente, con la finalidad de preservar el ecosistema; 2) al personal que interactúa con la línea de transmisión del gas natural, porque, al eliminar la fuga de gas natural, elimina el riesgo de explosión, en consecuencia, queda protegido la vida del ser humano; 3) a la empresa, porque, al detectar y eliminar la fuga de gas natural, aumenta su volumen de producción de dicho producto, y como consecuencia de ello, aumenta sus utilidades.

El contenido de la presente investigación es el siguiente:

- El capítulo 1, presenta el planteamiento del problema, la descripción del problema, la formulación del problema, antecedentes de la investigación, justificación e importancia de la investigación, las limitaciones de la investigación, los objetivos de la investigación, así como, las hipótesis de la investigación realizada.
- El capítulo 2, describe el planteamiento teórico de la investigación y el marco conceptual.
- El capítulo 3, indica el tipo de investigación realizada, el nivel de la investigación, determinación de la población y muestra estadística, operacionalización de las

variables, instrumentos y técnicas de la investigación, procedimiento de la investigación, y el análisis de datos.

- El capítulo 4, presenta los resultados de la investigación, la contratación de las hipótesis, y el análisis e interpretación de los mismos.
- El capítulo 5, presenta la discusión de los resultados obtenidos.
- Finalmente, se presenta, las conclusiones y recomendaciones finales de la investigación realizada.

### **1.1 Planteamiento del problema**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos (compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno) ligeros (de dos hasta cuatro carbonos en su composición) que se extrae, bien sea de yacimientos independientes o, junto a yacimientos petrolíferos o de carbón. Este gas natural, es transportado por un gasoducto que pasa por el distrito de Chilca, estando en algunos tramos, sobre nivel, y en otros tramos, bajo nivel.

El principal componente del gas natural es el gas metano al 79% - 97%, siendo este último, uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), más perjudiciales que existe sobre la tierra. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático], el metano (componente principal del gas natural) equivale a 23 veces el efecto invernadero que el dióxido de carbono, otro de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se sabe que los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono (IPCC, 2018).

El material del gasoducto, es de metal acerado, y está unido por secciones, mediante cordones de soldadura (proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos piezas). Estos cordones, podrían presentar problemas, debido a que antes de soldar en o alrededor de la estructura, o área que contenga instalaciones de gas, se debería de haber efectuado una



verificación cuidadosa de la superficie a soldar, sin dejar grietas microscópicas que puedan comprometer a futuro, las instalaciones del gasoducto.

El gas natural recibe este nombre porque se extrae directamente de la naturaleza y llega a su punto de consumo sin haber experimentado prácticamente ninguna transformación química. Es la energía fósil menos contaminante y su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Este hecho, añadido a la expansión de su comercio y la extensión de las redes y sistemas de distribución, hace que su utilización esté aumentando en todo el mundo (López, 2020, p. 3).

## **1.2 Descripción del problema**

El gasoducto en estudio, tiene protección catódica (técnica para controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal), que disminuye el riesgo de corrosión, el cual podría originar grietas por donde pueda fugar el gas natural. Esta protección catódica, podría presentar problemas, debido a una mala preparación previa de la superficie, debiendo la superficie ser compatible con el revestimiento a ser aplicado. La superficie de la tubería debería haberse hallado libre de material deletéreo, tales como herrumbre, costras húmedas, suciedad, aceites, lacas o barnices.

Una fuga de gas natural en la línea de transmisión de gas natural, contaminaría la atmósfera y conllevaría a efectos nocivos en la zona de influencia de la línea de transmisión, originando externalidades negativas en el ecosistema circundante, esta contaminación atmosférica, no es “pagada” por nadie, en consecuencia, se estaría violando el principio ambiental “contaminador - pagador”, es decir, el que contamina, debe de pagar las consecuencias de ello.

Así mismo, dicha fuga contribuiría al efecto invernadero, que pondría en peligro tanto a la flora como la fauna circundante, y dado que el agente nocivo de la atmósfera, es decir, el

gas natural, se encuentra en estado gaseoso, podría, en el extremo caso, producirse una explosión.

La línea de transmisión de gas, tiene dos válvulas principales, una en cada extremo de la línea, una es la válvula de entrada al gasoducto y la otra es la válvula de salida del gasoducto, distantes entre sí, a más de 3.215 metros de gasoducto, una de la otra, estas válvulas presentan diferencias de lectura en el gas que transporta, lo cual es indicador de que, existe fuga de gas, produciéndose así, contaminación ambiental en la zona de influencia. Esta contaminación ambiental, producida por la fuga de gas natural en el gasoducto, daña el ecosistema circundante.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos que se encuentra frecuentemente en yacimientos fósiles (Osinermin, 2017, p. 4), el metano es un fuerte Gas. Efecto Invernadero (GEI), (Benavides y León, 2017, p. 37), Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero (Benavides y León, 2017, p. 36). El metano es un poderoso gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento veinte veces mayor que el CO<sub>2</sub> (Ortúzar y Tornel, 2016, p. 24).

El efecto invernadero es el calentamiento producido por ciertos gases en la atmósfera de la Tierra que retienen el calor. Las consecuencias en la Tierra son: cambio en océanos y mares, cambio en los fenómenos atmosféricos, cambio del clima y cambio de biodiversidad (Vásquez, 2015, p.15). El metano es responsable del 16% del efecto invernadero (Del Toro, 2018, p. 4).

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por actividades antropogénicas han causado interferencias con el sistema clima, provocando el calentamiento global; el metano tiene un potencial calentamiento 28 veces el del bióxido de carbono (IPCC, 2013, en Rodríguez

*et al.*, 2018, p. 2). De los explicados por los citados autores, en los tres párrafos precedentes, se puede colegir que, la fuga de gas natural, deviene en contaminación ambiental.

### **1.3 Formulación del problema**

#### ***1.3.1 Problema general.***

Se formula como interrogante principal de la presente investigación

¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca?

#### ***1.3.2 Problemas específicos.***

Se enuncian las siguientes interrogantes específicas.

- ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?
- ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?
- ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?

### **1.4 Antecedentes**

El origen del gas natural, como el del petróleo, lo debemos buscar en los procesos de descomposición de la materia orgánica, que tuvieron lugar entre 240 y 70 millones de años atrás, durante la época en la que los grandes reptiles y los dinosaurios habitaban el planeta (Era del Mesozoico). Esta materia orgánica provenía de organismos planctónicos que se fueron acumulando en el fondo marino de plataformas costeras o en las cuencas poco profundas de

estanques, y que fueron enterradas bajo sucesivas capas de tierra por la acción de los fenómenos naturales (López, 2020, p. 4).

En los sistemas de gas a nivel mundial ocurren emisiones de metano a lo largo de todos los procesos, esto es, durante la explotación, producción, transporte y distribución. De la cabeza del pozo hasta al usuario final, el gas se mueve a través de cientos de válvulas, mecanismos de procesamiento, compresores, tuberías, estaciones de regulación de presión y otros equipos (Leyva y Salazar, 2017, p. 138).

Ya desde el 2013, el World Energy Council (WEC, 2020), por sus siglas en inglés sostenía que todas las reservas de petróleo del planeta podrían agotarse dentro de 56 años, estos datos fueron publicados en un informe anual de la organización sobre recursos mundiales de energía presentado en el Congreso Mundial de Energía celebrado en Daegu, Corea del Sur (WEC, 2020, p. 1).

El Centro de Investigación de Energía y Aire Limpio (CREA, 2020), por sus siglas en inglés, conjuntamente con Greenpeace, sostienen que la contaminación del aire por la quema de combustibles fósiles - principalmente carbón, petróleo y gas - provoca cada año 4,5 millones de muertes anuales en todo el mundo y genera unas pérdidas económicas estimadas en 2,9 billones de dólares, lo que equivale a aproximadamente un 3,3% del PIB mundial (Greenpeace, 2020. p. 5).

Nuevos datos de investigadores de renombre mundial revelan que hay 20 compañías de combustibles fósiles cuya explotación de las reservas mundiales de petróleo, gas y carbón puede estar directamente relacionada con más de un tercio de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en la era moderna y cómo esta cohorte de empresas está impulsando la emergencia climática que amenaza el futuro de la humanidad, y detalla cómo han continuado expandiendo sus operaciones a pesar de ser conscientes del impacto devastador de la industria en el planeta (Heede, 2019, p. 3).

“El 3 de junio de 1989, dos trenes en movimiento produjeron chispas que detonaron gas natural de un gasoducto con fugas cerca de Ufa, Rusia. Hubo unas 645 personas muertas” (RIA Novosti, 2009).

“El 28 de septiembre de 1993, durante unos trabajos de colocación de fibra óptica en la Autopista Regional del Centro en Venezuela, la rotura accidental de un gasoducto principal provocó una explosión y subsecuente incendio, dejando 53 personas muertas y 70 heridas” (EL País, 2014).

“El 28 de diciembre de 1998, se produjo una explosión de un Gasoducto en Colombia, en la población de Arroyo de Piedra, donde murieron 15 personas y 25 resultaron heridas”. En este caso no fue posible lograr determinar las causas, pero pruebas realizadas por las autoridades colombianas indicaron las existencias de colonias de bacterias, las cuales atacaron la tubería causando una corrosión localizada y generando un escape de gas y una explosión (EL País, 1998).

“EL 19 de agosto de 2000, la rotura de un gasoducto de gas natural que estalló en llamas cerca de Carlsbad, Nuevo México, mató a 12 miembros de la misma familia. La causa fue una importante corrosión interna del gasoducto” (Agence France-Presse [AFP], 12 de julio de 2007).

“El 30 de julio de 2004: un gasoducto principal explotó en Ghislenghien, Bélgica, a unos 30 km al sudoeste de Bruselas, matando a por lo menos 23 personas y dejando 122 heridos, algunos de extrema gravedad” (La Nación, 2004, p. 1).

“EL 7 de mayo de 2007, una explosión en Ucrania destruyó parcialmente un gasoducto que transporta gas de Rusia a la Unión Europea” (El mundo, 2014).

“En el 2014, varias explosiones por fugas subterráneas de gas ocurrieron en Kaohsiung, la segunda ciudad más grande de Taiwán, dejando más de 20 muertos y 270 heridos” (Reuters, 2014). Cinco bomberos figuran entre las víctimas fatales. Según la Agencia Noticiosa Central

de Taiwán, ellos efectuaban inspecciones debido a avisos de fuga de gas cuando ocurrieron las explosiones, fueron al menos, cinco los estallidos que sacudieron las calles de la ciudad portuaria, las llamas alcanzaron al menos nueve metros de alto (Yi-huah, 2014).

En el 2015, se registró un incendio en un ducto de gas de la empresa Transportadora de Gas del Perú, ubicada en el kilómetro 69 de la Panamericana Sur en el distrito de Chilca en Cañete. El jefe de bomberos Lima Sur, informó que el siniestro se habría originado por la fuga de una tubería de gas natural. Esto debido a la abertura de una matriz subterránea de Camisea. Afortunadamente no dejó víctimas que lamentar (García, 2015).

En el 2015, la fuga de gas natural que causó alarma en San Isidro se suma a más de 90 casos similares producidos por malas maniobras en excavaciones en el subsuelo de Lima, informó el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) un total de 92 casos de fuga de gas natural ocasionados por terceros se registraron en el último año en Lima. Se informó que el incidente fue ocasionado por una empresa contratista de Sedapal que realizaba trabajos de reparación del desagüe en la zona (Fernández, 2015).

En el 2017, la dirección de Protección Civil Municipal de Soledad, de México, atendió de manera inmediata un reporte de fuga de gas natural en la calle Santo Domingo y Avenida San Luis de la colonia San Felipe; fue alrededor de las 09:45 horas, cuando una maquinaria realizaba diversas maniobras en el lugar, rompieron un ducto, ocasionando la fuga, por ello, fue necesario la evacuación de 420 alumnos del Colegio Mariano Matamoros y del Preescolar Manuel González, además de 30 familias de viviendas cercanas al lugar del incidente (Agencia de Noticias San Luis Potosí [AN], 2017).

En el 2017, en falla de plataforma Arenque C (ubicado en la playa Miramar, municipio de Altamira, Tamaulipas), de la empresa de capital británico Petrofac, causó una fuga de un millón de pies cúbicos de gas natural y el derrame de 13 litros de crudo, a unos 30 kilómetros de la playa de Miramar, por lo que los trabajadores fueron desalojados, informó personal de la

compañía. La falla ocurrió durante la perforación del pozo Arenque 310H en el Golfo de México (Castellanos, 2017). A continuación, se presenta algunas investigaciones en el ámbito internacional y nacional:

### *Antecedente internacional*

- Robles (2019), preocupado por entidades, tales como, centros educativos y centros de salud, los cuales puedan ser susceptibles de ser afectados por deslizamientos, debido a la exposición de las personas a riesgos (p.15), llevan a cabo un análisis de riesgo al cual la población aledaña a la infraestructura, tal es el caso del ducto de transporte de gas natural de Camisea, (p. 15). Su investigación denominada: Población en áreas vulnerables y política de gestión de riesgos: El caso del transporte de gas natural por ductos, la presentó como tesis, permitiéndole obtener el Grado de Magister en Política social con mención en Gestión de proyectos sociales; lo realizó en la ciudad de Lima, Perú. El objetivo general (p. 54) fue, determinar si el nivel de riesgo para las personas ubicadas en la franja de seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo. Empleó como metodología (p. 149), el software Stella para las simulaciones de trabajo. Como conclusión de la investigación (p. 226), se determinó que el nivel de riesgo para las personas ubicadas en la franja de seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo.
- Avilés (2017), inquietado por la necesidad de los ínvodos por transportarse ya sea dentro de estas mismas o hacia lugares rurales (p. 5), llevó a cabo un análisis en su investigación denominada: Gas natural en la generación de energía en el sector transporte colectivo de personas en México: impactos socioeconómicos y ambientales, la presentó como tesis, permitiéndole obtener el Grado de Maestro en Ciencias sociales: Desarrollo sustentable y globalización; lo realizó en la ciudad de Baja California, México. El objetivo general (p. 23), fue el análisis de los impactos económicos del transporte colectivo de personas. Empleó como metodología, el análisis de los impactos

socioeconómicos del transporte colectivo de personas y, el análisis de los impactos socioambientales del transporte colectivo de personas (p. 147). Como conclusión de la investigación (p. 184), el costo del combustible -gas natural-, cuenta con la ventaja de su precio, es el más bajo a nivel mundial, gracias a la explotación intensiva que se hace de este a EE. UU., lo que, lo posiciona como una alternativa sólida para su uso dentro del territorio.

- Delvasto (2017), inquietado por la ejecución de proyectos de gasoductos por varias empresas transportadoras del sector gas natural en Colombia (p. 24), llevó a cabo un análisis en su investigación denominada: Modelo para la gestión de proyectos de gasoductos de transporte de gas natural en Colombia, la presentó como tesis, permitiéndoles obtener el Grado de Doctor en Gerencia de proyectos; la realizó en la ciudad de Bogotá, Colombia. El objetivo general (p. 27) fue, desarrollar y validar un modelo para la gestión de los proyectos de gasoductos de transporte de gas natural en Colombia con el fin de demostrar la aplicación de las mejores prácticas de la disciplina en el sector de transporte de gas en el país; el modelo será definido a partir de las áreas de conocimiento contenidas en los estándares de la gestión de proyectos. La metodología (pp. 32-45), fue cualitativa – cuantitativa, se basó en el trabajo de campo efectuado sobre las organizaciones que en Colombia hacen la gestión de gasoductos de transporte. Como conclusión de la investigación (pp. 132-134), se sostiene que la evolución del sistema de gasoductos en Colombia ha tenido un comportamiento similar a la que ha sido observada en otros países del área como Argentina y Perú que han desarrollado sus mercados de consumo interno de gas natural en forma simultánea a su red de ductos de transporte, facilitando la realización de inversiones eficientes y oportunas para el tamaño de la demanda del combustible por parte los consumidores internos.



### *Antecedente Nacional*

- García (2015), preocupado por el diseño de gaseoductos enterrados y las actividades que ellas requieren para su elaboración (p. 1), estudia y propone una manera más eficiente y menos costosa de llevar a cabo un proyecto para el diseño de gaseoductos enterrados. Su investigación denominada: Diseño de gaseoductos mediante el uso de herramientas computacionales de propósito general, dicha investigación se realizó en el Perú, para optar por el Título profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico; la realizó en la ciudad de Piura, Perú. El objetivo general (p. ii) de la investigación fue el de diseñar y desarrollar una herramienta informática que permita determinar el dimensionamiento de la tubería, potencia y presupuesto estimado a emplear para cada uno de los escenarios, esto le permitiría monitorear en tiempo real las condiciones operativas del gasoducto enterrado. La metodología (pp. 39-74) empleada fue la de estudiar las características del fluido (viscosidad y densidad), su comportamiento hidráulico, dimensionamiento del ducto, diámetro de tubería, caudal de transporte, etc., determinando las propiedades termodinámicas, para ver los límites en los cuales puede trabajar el fluido. El resultado de la investigación (pp. 106-107) le permitió diseñar el programa para el dimensionamiento del gasoducto, el cual le permitió mostrar el comportamiento que tendría un gasoducto antes de su implementación o construcción, así como un monto aproximado de inversión a utilizar. El programa, permite también, realizar la simulación de un gasoducto ya existente y verificar si el espesor es el indicado para las condiciones sobre las cuales trabaja.
- Velazco (2014), preocupado por la seguridad e higiene del gaseoducto que alimenta a las plantas reguladoras, y que de ahí es derivada a los domicilios con una presión menor para uso doméstico (p. 5), realiza una inspección visual y cambio de revestimiento en el gaseoducto de alta presión. Su investigación denominada: Realización de pozos para

inspección en gasoductos y reparación de revestimiento, la presentó como tesis, permitiéndole obtener el Título profesional de Licenciado en Higiene y Seguridad en el Trabajo; la realizó en la ciudad de Mar de Plata, Argentina. El objetivo general (p. 5) de la investigación fue el de implementar procedimientos de trabajo seguro que permita reducir y anticipar todos los riesgos que se presentan en el trabajo. La metodología (pp. 89-137) empleada consistió en descubrir la cañería [tubería], en los sitios donde mediante estudio previo de ha identificado la existencia de fallas de revestimiento; una vez ubicado el lugar a realizar la excavación mediante el uso de un GPS diferencial y haber la medición de presencia de gases, se comienza con la excavación manual hasta alcanzar el caño [la tubería]. El resultado de la investigación (pp. 204-205) permitió encontrar las causas y los factores críticos para detectar aquellas posibles causas más repetitivas. Con la implementación de estos procedimientos se logra que no ocurran accidentes ni incidentes y que optimicen tanto los recursos humanos, como materiales, para reducir costos y plazos de realización de tareas.

Los gasoductos que transportan gas natural, están sujetos a normas y protocolos nacionales e internacionales, pero esto no exime, la fuga del gas, independientemente de las causas; producido la fuga del gas natural, habrá inmediatamente, fuga de metano (componente químico del gas natural), este gas de efecto invernadero contribuye al calentamiento global del planeta, debido a que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

### **1.5 Justificación de la investigación**

Se presenta a continuación, los juicios por los cuales se desarrolló la presente investigación:

**Justificación teórica:** El desarrollo de la presente investigación permite demostrar que la teoría cinética de los gases ideales, permitirá demostrar la fuga de gas en la línea de

trasmisión de gas natural en el distrito de Chilca. El gas natural, es un fluido, por tanto, sus propiedades, están circunscritas a las propiedades de los gases ideales.

**Justificación práctica:** El desarrollo de la presente investigación permite demostrar que se puede determinar fuga de gas en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, una vez demostrada la hipótesis general, se podrá resolver el problema de la contaminación ambiental en dicha localidad.

**Justificación metodológica:** El desarrollo de la presente investigación, permite demostrar que se ajusta al protocolo de la norma ASME B31.8-2003 (Gas transmission and distribution piping systems [Sistema de tuberías y trasmisión y distribución de gas]), la cual establece los requerimientos considerados como necesarios para el diseño seguro y la construcción de tuberías a presión.

**Justificación ambiental:** El desarrollo de la presente investigación permite demostrar que la fuga de gas en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, contamina el medio ambiente, en consecuencia, produce externalidades negativas al ecosistema en la zona de influencia.

***Importancia de la investigación:***

**Aporte a la ciencia:** Permitirá explicar cómo la teoría cinética de los gases ideales y las ecuaciones de los gases ideales, probaría la fuga de gas en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. El gas natural tiene un comportamiento cinético, y para su análisis, es aplicable la teoría de los gases ideales.

**Aporte a la tecnología:** Permitirá replicar la metodología empleada en esta investigación, en otras situaciones similares, bosquejando un plan de análisis de fuga de gas, después de determinar la fuga de gas natural, puede prevenir accidentes en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

## 1.6 Limitaciones de la investigación

**Limitación de tiempo por parte de los ingenieros:** Insuficiente disposición de tiempo por parte de los ingenieros y técnicos encargados de la supervisión y mantenimiento de la línea de transmisión del gas natural. El trabajo de campo, tenía que ser supervisado por este personal, desde el punto de vista ingenieril.

**Limitación de tiempo por parte del personal de seguridad:** Insuficiente disposición de tiempo por parte del personal de seguridad, encargados del cuidado de la línea de transmisión del gas natural. El trabajo de campo, tenía que ser supervisado (desde el punto de vista de seguridad, más no así, desde el punto de vista ingenieril) por el personal de seguridad.

## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 *Objetivo general.*

Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### 1.7.2 *Objetivos específicos.*

- Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

- Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

## 1.8 Hipótesis

### 1.8.1 *Hipótesis general.*

La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### 1.8.2 *Hipótesis específica.*

- La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### *Identificación de las variables*

En la presente investigación se definió una variable independiente y una variable dependiente.

**Variable independiente:** *Fuga de gas natural.*

- **Gas:** Es uno de los estados de la materia, que, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, sus moléculas interactúan entre sí. Tiene el

comportamiento de un gas ideal, puede ser definida con la ecuación universal de gases ideales (Ecuación 1).

- **Fuga de gas:** Es una filtración de gas, desde una tubería u otra conducción o contención, hacia cualquier otro espacio en el cual el gas no debería estar presente.
- **Gas natural:** Es un hidrocarburo de gases ligeros de origen natural, principalmente el metano; se forma cuando varias capas de plantas en descomposición y material animal se exponen a calor intenso y presión bajo la superficie de la Tierra durante millones de años.
- **Dimensiones de la variable:** 1) Uniones defectuosas. 2) Válvulas instaladas defectuosas. 3) Actividades antropogénicas.

Entonces, *Fuga de gas natural*, es un gas que tiene un comportamiento de gas ideal, este gas natural se filtra a través de las paredes del gasoducto, su emisión es hacia la zona de influencia y es la responsable de la contaminación ambiental. Este gas natural, tiene tres posibilidades de fuga: a) a través de las uniones del ducto (el ducto está formado por varias secciones). b) a través de válvulas que pudieran haber sido instaladas en forma defectuosa. c) por responsabilidad del personal que las manipula indebidamente.

**Variable dependiente:** *Contaminación ambiental.*

- **Contaminación:** Es la introducción de sustancias u otros elementos físicos, químicos o biológicos, en un medio. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. La contaminación siempre provoca una alteración negativa del estado natural del medio ambiente.
- **Ambiente:** Llamada también, medio ambiente, se refiere al medio natural o entorno natural, en la cual habitan los seres bióticos (flora y fauna) y abióticos.

- **Contaminación ambiental:** Es la presencia de componentes nocivos, ya sea, físicos, químicos o biológicos, en el medio ambiente; son el responsable de la degradación de los ecosistemas, pudiendo llegar a desaparición de ellos.
- **Dimensiones de la variable:** a) Uniones defectuosas (deformaciones en las uniones soldadas, fisuras en las uniones soldadas, poros en las uniones soldadas). b) Válvulas instaladas defectuosas (defectos en los sellos de las válvulas, defectos en los asientos de las válvulas, defectos en los manómetros de las válvulas). c) Actividades antropogénicas (manipulación indebida en las válvulas, manipulación indebida en los manómetros, manipulación indebida en los postes).

Entonces, *Contaminación ambiental*, es la degradación y alteración del ecosistema en la zona de influencia del gasoducto, alterando el entorno natural, sobre todo de la flora y fauna, en todo el trayecto de la línea de transmisión del distrito de Chilca; es producida por la fuga de gas natural a través del ducto. Esta contaminación puede generarse a través de: a) Uniones defectuosas (deformaciones en las uniones soldadas, fisuras en las uniones soldadas, poros en las uniones soldadas). b) Válvulas instaladas defectuosas (defectos en los sellos de las válvulas, defectos en los asientos de las válvulas, defectos en los manómetros de las válvulas). c) Actividades antropogénicas (manipulación indebida en las válvulas, manipulación indebida en los manómetros, manipulación indebida en los postes).

## II. Marco teórico

### 2.1 Marco conceptual

Para efectos de la presente investigación, se establecen las siguientes definiciones de los conceptos fundamentales que en ella aparecen. Todas las magnitudes se expresan en las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SIU).

#### *Fuga de gas natural*

Es la salida no controlada del gas natural que recorre la línea de transmisión de gas natural, que recorre todo el gasoducto. Esta salida de gas no controlada, que no es otra cosa que, la transferencia no controlada de moléculas del gas natural, desde el sistema cerrado (gasoducto), hacia el medio ambiente. La fuga de gas natural, puede ser causada por varios motivos, básicamente, por falta de mantenimiento del gasoducto, o por actividades antropogénicas.

#### *Efecto ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca*

El componente principal del gas natural es el metano (GEI), y la fuga de gas natural de la línea de transmisión del distrito de Chilca, produce un efecto ambiental nocivo al ecosistema, tanto, a la flora y fauna de la zona de influencia del gasoducto, como a la capa de ozono, además de, efectos toxicológicos al personal que interactúa con el gasoducto.

#### *Gas*

Es cualquier gas o mezcla de gases adecuado para combustible doméstico o industrial y transmitido o distribuido al usuario a través de un sistema de tuberías. Los tipos más comunes son gas natural, gas manufacturado y gas licuado de petróleo distribuido como vapor, con o sin la mezcla de aire.



### ***Manipulación antropogénica de las válvulas***

Son actividades realizadas por el hombre (ingenieros y personal de mantenimiento), por labores de mantenimiento o que realizan “manipulación indebida” a las válvulas instaladas, con la finalidad de “verificar” el paso del gas natural.

### ***Manipulación antropogénica en los manómetros***

Son actividades realizadas por el hombre (ingenieros y personal de mantenimiento), por labores de mantenimiento o que realizan “manipulación indebida” en los manómetros de las válvulas instaladas, con la finalidad de “verificar” el paso del gas natural.

### ***Manipulación antropogénica en los postes***

Son actividades realizadas por el hombre (ingenieros y personal de mantenimiento), que realizan “manipulación indebida” en los postes instalados, con la finalidad de “verificar” las condiciones de la línea.

### ***Manipulación antropogénica de las uniones soldadas***

Son actividades realizadas por el hombre (ingenieros y personal de mantenimiento), que realizan “manipulación indebida” a las uniones soldadas, con la finalidad de “verificar” el paso del gas natural.

### ***Gasoducto***

Es una parte de las instalaciones físicas a través de las cuales el gas se mueve en el transporte, incluyendo tubería, válvulas, accesorios, bridas (incluyendo pernos y juntas), reguladores, recipientes a presión, amortiguadores de pulsaciones, válvulas de alivio y otros accesorios conectados a tubería, unidades de compresores, estaciones de medición, estaciones reguladoras y conjuntos fabricados. Dentro de esta definición se incluyen las líneas de transporte y recolección de gas, incluidas las dependencias, que se instalan en alta mar para el transporte de gas desde las instalaciones de producción hasta las instalaciones en tierra y los

equipos de almacenamiento de gas del tipo de tubería cerrada fabricados o forjados de tubos o fabricados de tuberías y accesorios.

### ***Transporte de gas***

El transporte de gas es la recolección, transmisión o distribución de gas por tubería o el almacenamiento de gas.

### ***Uniones de soldadura deformadas***

Son producidas cuando en el momento de la soldadura, el material depositado y zonas vecinas a unión, alcanzan temperaturas muy altas, que al enfriarse se contraen.

### ***Uniones de soldadura con fisuras***

Las fisuras o grietas pueden originarse en forma interna o externa, puede originarse en el uso de un electrodo inadecuado o que se ha producido un enfriamiento de la soldadura demasiado rápido.

### ***Uniones de soldadura con poros***

Pueden ser producidas cuando el material es depositado sobre una escoria, produciendo así, un falso contacto en el material depositado.

### ***Válvulas con sellos defectuosos***

Los sellos de válvulas son de polímeros resistentes a altas presiones, y se instalan entre las tapas de la válvula. Estos pueden venir defectuosos.

### ***Válvulas con asientos defectuosos***

Los asientos de válvulas están en la parte interna de la misma, y tiene contacto con la parte interior con el manómetro. Estos pueden venir defectuosos.

### ***Válvulas con manómetros defectuosos***

El manómetro de la válvula es el instrumento que registra el paso del gas. Estos pueden venir defectuosos.

### **2.1.1 Medio ambiente y contaminación atmosférica**

El medio ambiente es el conjunto de todas las cosas vivas que nos rodean. De éste obtenemos agua, comida, combustibles y materias primas que sirven para fabricar las cosas que utilizamos diariamente. Al abusar o hacer mal uso de los recursos naturales que se obtienen del medio ambiente, lo ponemos en peligro y lo agotamos. Así mismo el aire y el agua también se han visto afectados, ya que estos cada vez se están contaminando, como los bosques están desapareciendo, debido a los incendios y a la explotación excesiva y los animales se van extinguiendo por el exceso de la caza y de la pesca (Centro de información de las Naciones Unidas [CINU], 2016, p. 1).

### **2.1.2 Definición de contaminación ambiental.**

En la actualidad una de las más grandes preocupaciones de la sociedad es el cuidado y preservación del medio ambiente, con el fin remediar los daños que el hombre ha causado y evitar que este se siga deteriorando, ya que esto directa e indirectamente afecta la salud y el bienestar de los hombres y de los otros organismos. La contaminación ambiental es un proceso cíclico que involucra todos los ambientes: aire, agua y suelo, y desde cualquier perspectiva, a los seres vivos tanto emisores como receptores de los contaminantes (Domínguez, 2015, p. 8).

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o a su vez, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (MINAN, 2016, p. 12).

El término “contaminación atmosférica” tiene diferentes definiciones, aunque todas referidas a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían

llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas (Ubilla y Yohannessen, 2017, p. 5).

### 2.1.3 Tipos de contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica puede ser de naturaleza física, química o microbiológica (Orozco *et al.*, 2018, p. 33):

- contaminación de naturaleza física,
- contaminación de naturaleza química.

**Contaminación atmosférica de naturaleza física.** Contaminación de naturaleza física, es en realidad una contaminación energética, ocasionada por ondas mecánicas y/o electromagnéticas o bien por emisiones radiactivas. Entre las más destacadas tenemos (Orozco *et al.*, 2018, p. 333):

- contaminación acústica,
- contaminación por radiación electromagnética,
- contaminación radiactiva.

**Contaminación atmosférica de naturaleza química.** Contaminación de naturaleza química, una vez emitidos los contaminantes a la atmósfera pueden sufrir transformaciones químicas que alerten su naturaleza; se clasifican en dos tipos (Orozco *et al.*, 2018, p. 362):

- **Contaminantes primarios**, que pueden ser: monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), compuestos orgánicos volátiles (COV), metano (CH<sub>4</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), entre otros.
- **Contaminantes secundarios**, que pueden ser, ozono (O<sub>3</sub>), oxidantes fotoquímicos (la quema de combustibles y solventes), sulfatos (SO<sub>3</sub><sup>=</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), entre otros.

#### **2.1.4 Contaminación atmosférica y el metano.**

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es  $\text{CH}_4$ . Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. El gas natural lo contiene en diversas proporciones según el yacimiento de donde es extraído, desde el 83% al 97% (Cornejo, 2015).

##### ***Metano y efecto invernadero.***

El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una medida de tiempo de 100 años cada kg de  $\text{CH}_4$  calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de  $\text{CO}_2$ . (Fuquen y Valest, 2015).

Los gases de efecto invernadero tienen un efecto múltiple de contaminación, alteran la composición química del aire, producen contaminación térmica (causa del efecto invernadero acentuado) y tienen efectos perjudiciales en la salud humana. La concentración de un gas invernadero es tan importante como su potencial termo activo o capacidad de captar calor, para determinar su aporte al efecto invernadero (Erazo y Cárdenas, 2013, p. 154).

### **Gases ideales**

#### **2.1.5 Definición de gas ideal.**

Un gas ideal es un gas teórico compuesto de un conjunto de partículas puntuales con desplazamiento aleatorio que no interactúan entre sí. El concepto de gas ideal es útil porque el mismo se comporta según la ley de los gases ideales, una ecuación de estado simplificada, y que puede ser analizada mediante la mecánica estadística. En condiciones normales tales como condiciones normales de presión y temperatura, la mayoría de los gases reales se comporta en forma cualitativa como un gas ideal. Lo referido quiere decir que cualquier gas en su estado natural (entre ellos, el gas natural), a condiciones normales de 1 atm (presión) y 23 °C

(temperatura), pueden ser estudiados como gases teóricos, aplicándoles las mismas fórmulas (Romero, 2014, 2).

### ***Comportamiento de un gas ideal.***

Los gases ideales constituyen un modelo particularmente útil para acercarse al comportamiento, no sólo de los gases reales, sino también para comprender cómo operan otros sistemas aún más complejos. Pero su utilidad no debe hacer perder de vista que se trata de un modelo y que como tal tiene limitaciones por lo que se debe tener especial cuidado cuando se extrapolan las conclusiones obtenidas para los gases ideales a otros sistemas (Tabares y Fariña, 2016, p. 2).

#### ***2.1.6 Variables que describen un gas ideal.***

Existen cuatro variables que describen completamente cualquier cantidad de un gas:

- masa (m),
- volumen (V),
- temperatura (T),
- presión (P).

Experimentos realizados con gases revelan que se necesitan cuatro variables para definir la condición física o estado de un gas: volumen, temperatura, presión y cantidad de gas, que se expresa como el número de moles  $n$  (Ortiz, 2017, p. 16)

### ***Ecuación general de un gas ideal.***

El gas ideal puro se define como una sustancia hipotética, a cuyo comportamiento tiende cualquier gas en el límite de presión tendiendo a cero y que satisface las condiciones siguientes:

La ecuación general, para  $n$  moles de sustancia viene dada por la expresión:

**Ecuación 1**

*Ecuación universal de los gases ideales*

$$P * V = n * R * T \quad (1)$$

Dónde:

**P** = Presión [atm]

**V** = Volumen [L]

**N** = Número de moles [mol]

**T** = Temperatura [°K]

**R** = Constante universal de los gases [0,082 L\*atm/°K/mol]

*Nota:* Adaptada de Rajadell y Movilla, 2005, citado en Fuentes (2019)

La ley de los gases ideales tiene muchos usos en la química. Para entender cuán útil puede ser la ley, hay que recordar cómo se usan las leyes individuales para hacer las predicciones cuando sólo se cambia una variable, tal como calentar una cantidad fija de gas a volumen constante. La ley de los gases ideales no puede hacer predicciones cuando se cambian dos o más variables (Fuentes, 2019, p. 16).

***Factor de compresibilidad (Z).***

El factor de compresibilidad (Z), conocido también como el factor de compresión, es la razón del volumen molar de un gas con relación al volumen molar de un gas ideal a la misma temperatura y presión. Es una propiedad termodinámica útil para modificar la ley de los gases ideales para ajustarse al comportamiento de un gas real. En general, la desviación del comportamiento ideal se vuelve más significativa entre más cercano esté un gas a un cambio de fase, sea menor la temperatura o más grande la presión.

**Ecuación 2***Factor de compresibilidad de los gases*

$$z = \frac{V_m}{V_m(\text{gas ideal})} = \frac{p * V_m}{R * T} \quad (2)$$

Dónde:

- z** = Factor de compresibilidad [adimensional]  
**P** = Presión [atm]  
**V<sub>m</sub>** = Volumen molar [L]  
**R** = Constante universal de los gases [0,082 L\*atm/°K/mol]  
**T** = Temperatura [°K]

*Nota:* Tomado de Rajadell y Movilla, 2005, citado en Fuentes (2019)***Energía interna de un gas ideal.***

Su energía interna es función exclusiva de la temperatura, por la cual se cumple:

**Ecuación 3***Energía interna de un gas ideal*

$$\frac{dU}{dT} = \left[ \frac{\delta U}{\delta T} \right]_V = \left[ \frac{\delta U}{\delta T} \right]_P \quad (3)$$

Dónde:

- $\frac{dU}{dT}$  = Diferencia de la energía interna respecto de la temperatura  
 $\left[ \frac{\delta U}{\delta T} \right]_V$  = Variación de la energía interna respecto de la temperatura, a volumen constante  
 $\left[ \frac{\delta U}{\delta T} \right]_P$  = Variación de la energía interna respecto de la temperatura, a presión constante.

Fuente: Rajadell y Movilla, citado en Fuentes (2019)

**2.1.7 Conservación de la masa.**

La Ley de Conservación de la masa, o Ley de Lomonósov - Lavoisier, es una de las leyes fundamentales en todas las ciencias naturales. Fue elaborada por Mijaíl Lomonósov (en 1745) y por Antoine Lavoisier (en 1785). Se puede enunciar como En una reacción química



ordinaria, o en un sistema cerrado, [es un sistema físico o químico, que no interactúa con otros agentes físicos situados fuera de él y, por lo tanto, no está casualmente ni correlacionalmente con nada externo a él, la masa permanece constante (Sal y Rosas, 2015, p. 66).

El balance de masa, es un método matemático utilizado principalmente en ingeniería química [el cual también, es aplicable a los gases ideales]. Se basa en la ley de conservación de la materia, que no se crea ni se destruye, sólo se transforma, y que establece que, la masa en un sistema cerrado permanece siempre constante (Sal y Rosas, 2015, p. 67).

#### **Ecuación 4**

*Conservación de la masa*

$$\text{entrada masa} = \text{salida masa} \quad (4)$$

Dónde:

**Entrada masa** = Cantidad de masa que ingresa al sistema [kg]

**Salida masa** = Cantidad de masa que ingresa al sistema [kg]

La Ecuación 4, matemáticamente, expresa que, en un sistema cerrado, la cantidad de masa que entra es igual a la cantidad de masa que sale. (Adaptada de Lomonósov, 1745 y Lavoisier, 1785, citado en Sal y Rosas, 2015)

#### ***Transferencia convectiva de masa.***

El mecanismo de transferencia de masa, depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo. Existe transferencia convectiva de masa, cuando la masa puede transferirse debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento se efectúe en régimen laminar o turbulento (Sal y Rosas, 2015, p. 66)

La Ecuación 5, puede expresarse en función al tiempo:

**Ecuación 5***Transferencia convectiva de masa*

$$\frac{\text{entrada masa}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{salida masa}}{\text{tiempo}} \quad (5)$$

Dónde:

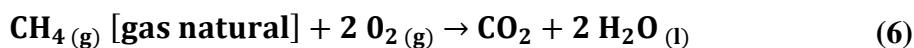
**Entrada masa** = Cantidad de masa que ingresa al sistema [kg/s]**Salida masa** = Cantidad de masa que ingresa al sistema [kg/s]

La Ecuación 5, matemáticamente, expresa que, en un sistema cerrado, la cantidad de masa por unidad de tiempo, que entra es igual a la cantidad de masa por unidad de tiempo, que sale. (Adaptada de Sal y Rosas, 2015)

**Gas natural****2.1.8 Definición de gas natural.**

El gas natural es una corriente gaseosa compuesta por una mezcla de hidrocarburos y no hidrocarburos. Los hidrocarburos son los parafínicos que incluyen el metano, etano, propano y otros hidrocarburos más pesados que a condiciones atmosféricas son gaseosos. Los no hidrocarburos los representan algunos gases inertes tales como nitrógeno y dióxido de carbono al igual que pequeñas cantidades de otros componentes tales como ácido sulfhídrico, helio, oxígeno y el vapor de agua (Latorre, 2016, p. 78).

El gas natural, se encuentra en la naturaleza bajo tierra en los denominados reservorios de gas. Su formación es similar a la de la formación del petróleo. Se extrae de los reservorios que se encuentran bajo tierra a profundidades que van desde 500 m hasta los 3.500 m, una vez extraído de los reservorios se somete a un proceso de separación (MINEM, 2019, p. 4).

**Ecuación 6***Conversión del gas natural en un gas de efecto invernadero*

La Ecuación 6, muestra la conversión de metano (contenido en el gas natural), en dióxido de carbono, ambos, Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se hubiera esperado que esta ecuación mostrara que un GEI, se convierta en un no GEI, pero como se puede observar, el resultado es otro GEI, algo totalmente nocivo para el medio ambiente y el ecosistema, sobre todo en la zona de influencia de la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

### 2.1.9 Clasificación del gas natural.

El gas natural, se clasifica, dependiendo por su origen en:

- 1) gas asociado, es el que se extrae junto con el petróleo y contiene grandes cantidades de hidrocarburos, como etano, propano, butano y naftas; y,
- 2) gas no asociado, es el que se encuentra en depósitos que no contienen petróleo crudo (Zepeda, 2019).

### Composición del gas natural.

El gas natural, es una mezcla de gases, que tienen diferente composición (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Componentes típicos del gas natural*

Categoría	Componente	%
Hidrocarburos parafínicos	Metano (CH <sub>4</sub> )	70 – 98
	Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	1 – 10
	Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Trazas – 5
	Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	Trazas – 2
	Pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	Trazas – 1
	Hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	Trazas - 0,5
	Heptano y superiores (C <sub>7</sub> +)	Ninguno – trazas
Hidrocarburos cíclicos	Ciclopropano (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	Trazas
	Ciclohexano (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )	Trazas

Hidrocarburos aromáticos	Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), otros	Trazas
	Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	Trazas – 15
	Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Trazas – 1
No hidrocarburos	Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	Trazas – 5
	Helio (He)	Trazas – 5
	Agua (H <sub>2</sub> O)	Trazas – 5

*Nota.* La tabla muestra la composición porcentual del gas natural. Muestra los hidrocarburos parafínicos, hidrocarburos cíclicos, hidrocarburos aromáticos y no hidrocarburos. El metano es el compuesto de mayor porcentaje del gas natural. (Fuente: Kumar, 1987, citado en MINEM, 2019).

El gas natural puede clasificarse como (OSINERGMIN, 2017 p. 5):

- Gas dulce, es aquel que no contiene sulfuro de hidrógeno.
- Gas agrio, contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno y por lo tanto es muy corrosivo.
- Gas rico, conocido también como húmedo, es aquel del que puede obtenerse cantidades apreciables de hidrocarburos líquidos. No tiene nada que ver con el contenido de vapor de agua.
- Gas pobre, conocido también como seco, está formado prácticamente por metano.

La presencia de sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono [en el gas natural] comunican el carácter tóxico al gas natural. El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, tiene olor desagradable, extremadamente venenoso, tan mortal como el cianuro de hidrógeno. Por otra parte, el monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, inflamable y produce acción tóxica sobre la sangre; el manejo de este gas debe hacerse en áreas muy bien ventiladas y usar filtro para CO (Latorre, 2016, p.83).

### 2.1.10 Usos y aplicaciones del gas natural.

Las aplicaciones y usos del gas natural son (MINEM, 2019, p. 8):

- gas natural de uso residencial,
- gas natural en la generación eléctrica,
- gas natural en la industria,
- gas natural vehicular y el transporte.

El gas natural tiene uso industrial, generación eléctrica, comercial, residencial y de transporte (MINEM, 2019, p. 8):

- industrial, y puede sustituir al carbón, fuel oil, gas licuado, kerosene y leña,
- generación eléctrica, y puede sustituir al carbón y fuel oil,
- comercial y puede sustituir al carbón, gas ciudad, gas licuado,
- residencial, y puede sustituir al gas ciudad, gas licuado, kerosene y leña,
- transporte, y puede sustituir a la gasolina y diésel.

### 2.1.11 Propiedades físicas y químicas del gas natural.

Las propiedades físicas y químicas del gas natural, difieren en pequeñas cantidades, según la fuente de extracción. La Tabla 2, presenta dichas propiedades.

**Tabla 2**

*Propiedades físicas y químicas del gas natural*

<b>Propiedad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Especial</b>
Oxígeno	% vol	- - -	0.2	
Inertes				
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	% vol	- - -	5.0	
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	% vol		3.0	
Totales inertes	% vol	- - -	5.0	

Contenido de licuables a partir del propano	L/m <sup>3</sup>		0.059	0.050 (2005)
Temperatura de rocío a 1 a 8,000 kPa	°K	- - -	271.15 (-2)	0.045 (2007)
Humedad (H <sub>2</sub> O)	mg/m <sup>3</sup>	- - -	112	
Poder calorífico superior	MJ/m <sup>3</sup>	35.42	41.53	- - -
Índice Wobbe	MJ/m <sup>3</sup>	45.8	50.6	- - -
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	mg/m <sup>3</sup>	- - -	6.1	- - -
Azufre total (S)	mg/m <sup>3</sup>	- - -	258	- - -
Material sólido	- - -	Libre de polvos, gomas y cualquier sólido que pueda ocasionar problemas en ductos y sus instalaciones. Así como, en cantidades que provoquen deterioro en los materiales que normalmente se encuentran en dichas instalaciones y que afecten su utilización.		
Líquidos	- - -	Libre de agua, aceite e hidrocarburos líquidos.		

*Nota.* La tabla muestra las propiedades químicas del gas natural. Se aprecia que tiene azufre, un elemento químico en forma gaseosa que es corrosivo. (Fuente: Cálidda, 2020)

### **2.1.12 Transporte del gas natural.**

El sistema clásico de transporte de gas entre dos puntos determinados es el gasoducto (tuberías de acero con carbono, de elevada elasticidad), bien enterrado en la superficie terrestre o bien en el fondo de los océanos. La capacidad de transporte de los gasoductos depende de la diferencia de presión entre sus extremos y de su diámetro -a medida que éste aumenta, lo hace la capacidad de transporte- (Energía y Sociedad, 2020, p. 1).

La forma de hacer circular el gas a través de los gasoductos no es otra que aumentar en determinados puntos de los mismos la presión del gas. Esta acción se realiza en las estaciones de compresión, que aseguran la correcta circulación de los caudales de gas, compensando las pérdidas de presión que se producen en el transporte. El control de los flujos de gas se realiza

desde instalaciones donde se reciben las medidas de presiones, temperaturas, caudales y poderes caloríficos (centros de control) (Energía y Sociedad, 2020, p. 2).

## **Gasoductos**

### ***Definición de gasoducto.***

Gasoducto, son todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el gas en su transporte, incluyendo tuberías válvulas, accesorios, bridas (incluyendo el empernado y las empaquetaduras), reguladores, recipiente a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue, y otros accesorios instalados en la tubería, unidades de compresión, estaciones de medición, estaciones de regulación, y conjuntos fabricados. Se incluyen en esta definición las líneas de transporte y recolección de gas, incluyendo sus complementos o accesorios que se halla instalados costa fuera para el transporte de gas desde las instalaciones de producción a localidades en tierra y equipos de almacenamientos de gas del tipo de tubería cerrada, que se fabrican o se forjan de tubería o se fabrican con tubería y accesorios (ASME, 2003, p. 2).

***Fallas en los ductos.*** Las tuberías son el medio más seguro y eficaz del transporte del gas natural desde el pozo de origen hasta las plantas de extracción y fraccionamiento; donde luego de su procesamiento para deshidratarlo y recuperar los hidrocarburos líquidos queda el metano como gas residual, el cual es comprimido e ingresa al sistema de transmisión para ser despachado al consumidor industrial y doméstico (García, 2015, p. 15). Existen otras fallas, y estas dependen del tiempo de ignición, punto de falla, así como, condiciones ambientales y meteorológicas. Podrían ser también, por factores mecánicos, tales como, terremotos, inundaciones, excavaciones.

### ***2.1.13 Construcción de gasoductos.***

El gasoducto es utilizado para el transporte de gas natural a gran distancia. Los riesgos derivados del manejo de un material combustible transportado a alta presión por conducciones que pasan cerca del lugar donde habitan personas hace necesario que se adopten medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el efecto en caso de ignición de una fuga de gas (Díaz, 2018, p. 1).

Las conducciones de acero o polietileno sirven para transportar gases combustibles a gran escala. Estos gasoductos son por lo general tubos de grandes diámetros empleados para transportar gas natural; muchos de los gasoductos que existen son subterráneos. Los construidos sobre el terreno se usan a menudo para transportar combustible hasta terminales marinos y posteriormente distribuidos a otros lugares (García, 2015, p. 18).

#### ***Variables de construcción para gasoductos.***

La construcción de gasoductos, debe considerar las siguientes variables (Gómez, 2016, p. 2):

- Derechos de paso y desvío, el cual permita las operaciones de limpieza, zanjas, soldadura, etc.; y, el desvío, de ser necesario, según la geografía del terreno.
- Manipulación de tubos, incluirá la mano de obra, materiales y equipos en forma permanente o temporal.
- Transporte y tendido, permisos para la circulación de los tubos por las carreteras principales, y para la colocación de los mismos.
- Almacenamiento de tubos y materiales, se debe hacer en lugares seleccionados y apropiados.
- Apertura de zanjas, se debe de considerar las dimensiones mínimas de fondo y relleno, cruce de carreteras, tierras irrigadas y excavación en roca



- Dobladura y alineación, considerar doblar en frío, tubos sin arrugas, contar con la maquinaria para tal fin, cuidar que las soldaduras longitudinales originales no deben quedar en las superficies cóncavas.
- Soldadura, será aplicada según el método manual de arco eléctrico protegido.
- Inspección con rayos X, se utilizarán máquinas de rayos X, radio o radioisótopos.
- Protección, el trabajo de protección de la tubería del gaseoducto, antes de enterrarlo en la zanja, será ejecutado por la compañía constructora.
- Cruce de carretera y corrientes de agua, se debe realizar de acuerdo con los planos de diseño y sobre todo cumpliendo las disposiciones nacionales, regionales y municipales.
- Prueba de presión hidrostática, realizar la prueba correspondiente, según el protocolo correspondiente.

#### ***2.1.14 Componentes de sistemas de tuberías.***

Todos los componentes de los sistemas de tubería, incluyendo válvulas, bridas, accesorios, cabezales, armados especiales, etc., deberán estar diseñados en conformidad con los requerimientos aplicables de esta sección (ASME) y prácticas de Ingeniería reconocidas para soportar presiones de operación y otras cargas especificadas. Los componentes seleccionados deberán ser diseñados para que resistan la presión de prueba de campo especificada a la cual serán sujetos sin falla o fugas y sin afectar negativamente su capacidad de servicio (ASME, 2003, p. 16).

#### ***Válvulas y dispositivos reductores de presión.***

- Las válvulas deberán estar en conformidad con los estándares y especificaciones referenciadas en este Código (ASME) deberán usarse solamente de acuerdo con las recomendaciones de servicio del fabricante.

- Podrán usarse las válvulas manufacturadas en conformidad con los siguientes estándares: ANSI B16.33 (Pequeñas válvulas metálicas para gas, operadas manualmente, en sistemas de distribución de gas). ANSI B16.34 (Válvulas de acero). ANSI B16.38 (Grandes válvulas metálicas para gas, operadas manualmente, en sistemas de distribución de gas. API 6A (Equipo de cabezal de pozo). API 6D (Válvulas de líneas de ductos). MSSS SP-70 (Válvulas de compuerta de hierro fundido. MSS SP-71 (Válvulas de retención a bisagra de hierro fundido. MSS SP-78 (Válvulas de tapón de hierro fundido.
- Las válvulas que tengan componentes de carcasa (cuerpo, bonete, tapa y / o brida de extremo) fabricados en hierro fundido dúctil, en cumplimiento de ASTM A 395 y que tengan dimensiones en conformidad con ANSI B16.1, ANSI B16.33, ANSI B16.34, ANSI B16.38, API 6D, o ASME B16.40, podrán usarse a presiones que no excedan el 80% de la presión especificada para válvulas de acero comparables a su temperatura de lista, siempre que la presión no exceda 1,000 psi, y no se emplee soldadura en ningún componente de hierro dúctil, en la fabricación de las carcasas de las válvulas o del armado en conjunto como parte del sistema de tuberías.
- Las válvulas que tengan componentes de carcasa fabricados con hierro fundido, no se deberán usar en componentes de tubería para estaciones de compresión.
- Las válvulas roscadas deberán tener las roscas en conformidad con ANSI B1.20.1, API 5L, o API 6A.
- Los dispositivos para reducción de presión, deberán conformarse a los requerimientos del presente Código (ASME) para válvulas en condiciones de servicios comparables.

***Bridas.***

- Las dimensiones y perforaciones para todas las bridas de línea o de extremo, deberán hallarse en conformidad con uno de los siguientes estándares: ANSI B16, MSS SP-44, ANSI B16-24.
- Las bridas fundidas o forjadas en forma integral con la tubería, accesorios o válvulas, se permiten en tamaños y clases de presión, cubiertas por los estándares de la lista de líneas arriba, sujetas a los requerimientos de acabados (caras), empernado y empaquetaduras.
- Las bridas de acompañamiento empernado que cumplen con el grupo B16 de los estándares nacionales estadounidenses (AMS), se permiten en tamaños y clases de presión cubiertas por estos estándares.
- Las bridas de solapa se permiten en tamaños y clases de presiones establecidas en ANSI B16.5.
- Las bridas de deslizar y soldar, se permiten en tamaños y clases de presiones establecidas en ANSI B16.5.

***Empernado.***

- Para todas las juntas de bridas, los pernos (suelos) o pernos prisioneros utilizados deberán extenderse por completo a través de las tuercas.
- Para todas las uniones de bridas, distintas a las descritas en los párrafos 831.21(h), (i), (j), y (k), el empernado deberá ser de acero de aleación, en conformidad con ASTM A 193, ASTM A 320, o ASTM A 354, o de acero al carbón que haya recibido tratamiento de calor, en conformidad con ASTM A 449. Sin embargo, para el empernado para ANSI B16.5, las bridas de Clase 150 y 300, a temperaturas entre -20 °F y 450 °F, podrán estar hechas de ASTM A 307, Grado B.

- El material de empernado de acero de aleación, que esté en conformidad con ASTM A 193 o ASTM A 354, deberá usarse para las bridas aisladoras, si es que dicho empernado se hace de un tamaño menor en 1/8 de pulgada.
- Los materiales usados para las tuercas, deberán estar en conformidad con ASTM A 194 y ASTM A 307. Las tuercas de ASTM A 307 solamente se deberán usar con pernos de ASTM A 307.
- Todos los pernos, pernos prisioneros y sus tuercas, hechos de acero de aleación, deberán estar roscados en conformidad con las siguientes series de roscas y clases de dimensiones, según el requerimiento de ANSI B1.1.

#### ***Empaquetadura.***

- El material para las empaquetaduras deberá ser capaz de resistir las máximas presiones y de mantener sus propiedades físicas y químicas a cualquier temperatura a la cual le pudiera ser sometida de manera razonable durante el servicio.
- Las empaquetaduras usadas bajo presión y a temperaturas por encima de los 250 °F, deberá estar hechas de un material incombustible. No se deberá usar empaquetaduras metálicas con bridas estándar de Clase 150 o más livianas.
- Las empaquetaduras de compuestos de asbesto, podrán usarse según lo permite ANSI B16.5. Este tipo de empaquetadura podrá usarse con cualquiera de los diferentes acabados de cara de brida, excepto con los de tipo machihembrado de lengüeta y ranura o los de macho pequeño y hembra pequeña.
- Empaquetaduras de metal o de asbesto forrado en metal (ya sean planas o corrugadas), no está limitado en cuanto a la presión, proveyendo que el material de la empaquetadura sea adecuado para la temperatura de servicio. Se

recomienda usar este tipo de empaquetaduras con las caras de machos pequeños y hembras pequeñas, o las caras machihembradas de caja y espiga.

### ***2.1.15 Sistema de odorización en el gasoducto.***

La empresa, odoriza el gas natural al inicio de su sistema de distribución, es decir inmediatamente después de recibido en su sistema de transporte, de manera de facilitar la detección de su presencia en la atmósfera como consecuencia de alguna fuga. El odorizante a utilizar para la odorización del gas natural deberá cumplir con los requisitos básicos siguientes (Cálidda, 2008):

- El olor será intenso y deberá ser característico y no confundirse con otros requisitos que aparezcan frecuentemente.
- El olor será desagradable pero no demasiado repulsivo. Será el mismo en diferentes disoluciones de gas natural con aires.
- La mezcla de gas natural y odorante, en las concentraciones en que sean utilizadas, no deberá ser nociva para las personas ni para los materiales con los que tome contacto, y sus productos de combustión no deben ser tóxicos cuando son respirados, ni corrosivos o dañinos para aquellos materiales con los que estén en contacto.
- El odorante será volátil y suficientemente estable tanto en fase gaseosa como durante el almacenamiento. No formará depósitos en los quemadores y dispositivos de seguridad.

***Bomba de Odorizador.*** La bomba de este sistema será de accionamiento neumático, con cabezal de inyección a diafragma hidráulico, con dos diafragmas, asegurando en caso de rotura no contaminar el medio ambiente. Esta bomba debe cumplir la Norma API 675. Por su

diseño se asegura un trabajo de 24 h/24 h sin interrupción de funcionamiento los 365 días del año y un mínimo mantenimiento tal lo indica la norma. Asimismo, tendrá una bomba de relevo.

**Líneas de succión y descarga.** Tubería de interconexión serán construidas en Acero inoxidable AISI 316 sin costura.

**Módulo de Control.** Este sistema dispondrá de un controlador automático que tendrá como función principal odorizar en forma proporcional a la señal de caudal y en caso de falla de bomba titular conmutará automáticamente a la bomba de reserva emitiendo a su vez una señal de alarma por falla de bomba.

**Depósito de odorante.** El depósito será de 500 L de capacidad, de configuración cilíndrica vertical con los extremos toriesféricos; cálculo y diseño según norma ASME VIII y construcción según norma ASME IX, presión de operación 4 Bar. El material de construcción es Acero Inoxidable AISI 316, revestimiento exterior poliuretánico alifático (epoxi) color blanco, pintado según procedimiento interno del fabricante.

**Boquilla de inyección.** Para inyectar el químico en el centro de la vena de la línea de proceso. Permitiendo por su diseño una correcta difusión en forma de “Spray” del químico a inyectar. La misma consta de una válvula de retención que por su diseño permite que la dosificación del químico se realice en forma uniforme independientemente de las diferencias de presión en la línea de proceso.

**Fallas de ductos.** En los últimos años el porcentaje de fallas en ductos de transporte debidas a la operación incorrecta ha repuntado considerablemente. Entre los “factores que influyen en la operación adecuada de los ductos, está el factor humano, el cual se ve involucrado en la manipulación de los componentes estructurales de los mismos” (Madrigal, 2018, p. 5).

## **Soldaduras**

### ***2.1.16 Definición de soldadura.***

Una soldadura como una coalescencia localizada (la fusión o unión de la estructura de granos de los materiales que se están soldando) de metales o no metales producida mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas de soldaduras requeridas, con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola y con o sin el uso de material de aportación en lenguaje menos técnico, la soldadura se produce cuando las piezas separadas de material que se van a unir se combinan y forman una pieza al ser calentadas a una temperatura lo suficientemente alta como para causar ablandamiento o fusión y fluyen juntas (American Welding Society [AWS], 2020, p. 5).

La soldadura es un proceso de fijación en donde se une dos o más piezas de un material (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la fusión, en la cual las piezas soldadas fundiendo, se pueden agregar un material de aporte (metal o plástico), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar, y al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que le se denomina cordón (INDURA, 15 de junio 2016).

La soldadura es un proceso que juega un papel importante en diferentes ramas de la industria, pues su “durabilidad crea productos seguros y confiables, el uso en la industria, es inevitable. Hay modificaciones o uniones, brindando tres aspectos esenciales para la calidad y el precio de sus procedimientos: unión permanente, bajo costo y seguridad y fiabilidad”. El uso de la soldadura aporta a la industria, entre otras cosas, una unión de calidad de diversos metales (Exelair, 2019, p. 4).

### ***Aleaciones férreas.***

Una aleación es una “mezcla sólida homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal, el método ordinario

de preparación de las aleaciones es la fusión conjunta, o sea, la mezcla de los elementos en estado de fusión” (Cárdenas, 2015, p. 11).

Las aleaciones ferrosas son aquellas que tienen como base o elemento en mayor proporción al hierro, componentes secundarios a metales, por ejemplo, manganeso, níquel, vanadio, cromo (Cárdenas, 2015, p. 11).

#### **2.1.17 Características de los materiales.**

Las características químicas, físicas y mecánicas de los materiales, tienen una influencia muy significativa en cualquier operación de soldadura. Las propiedades de los materiales pueden clasificarse como sigue (Giachino y Weeks, 2007, pp. 4-5).

**Características químicas.** Son las que influyen en los fenómenos de corrosión, oxidación y reducción. La corrosión es una “destrucción progresiva del metal por efecto de los elementos atmosféricos. La oxidación consiste en la formación de óxidos metálicos por combinación de los metales con el oxígeno”. La reducción consiste en la eliminación de oxígeno de las inmediaciones del baño de fusión para evitar los efectos de la contaminación atmosférica (Giachino y Weeks, 2007, pp. 4-5).

**Características físicas.** Son las que definen el “comportamiento del metal cuando este se somete al calor necesario para soldar. Se considera como más importantes la temperatura de fusión, la conductividad térmica y la estructura granular”. Los metales sólidos pasan al estado líquido (fusión) a diferentes temperaturas. Cuando se enfrían desde el estado líquido, los átomos se ordenan formando distintos modelos de cristales (redes cristalinas). La resistencia de la soldadura depende, con mucha frecuencia, de cómo se controlen estas redes cristalinas y de cuánto calor es necesario para la correcta fusión del metal (Giachino y Weeks, 2007, p. 4).

**Características mecánicas.** Son las que determinan el comportamiento de los metales cuando estos se someten a distintos tipos de cargas. Se puede citar “como más importantes la



resistencia a tracción, ductilidad, tenacidad, fragilidad, etc. todos tiene una gran importancia en relación con la soldadura” (Giachino y Weeks, 2007, p. 5).

### ***El arco eléctrico.***

El arco eléctrico fue descubierto por Sir Humphey Davy en 1801, sin embargo, permaneció durante muchos años como una mera curiosidad científica. El arco eléctrico es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco, por otra parte, es a fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo (Servicio nacional de capacitación para la industria de la construcción [SENCICO], 2013, p. 28).

Se puede emplear corriente continua o corriente alterna para establecer un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar. Si se utiliza corriente continua se puede diferenciar entre conectar el electrodo al terminal negativo y la pieza al positivo o bien conectar el electrodo al terminal positivo y la pieza al negativo, de esta forma aparece el concepto de polaridad, que sólo existe en el caso de corriente continua (SENCICO, 2013, p. 31).

### ***Problemas que pueden presentarse en las soldaduras por arco.***

En la Tabla 3, se consideran algunos de los problemas que pueden presentarse durante la realización de cualquier operación de soldadura, así como sus causas y posibles soluciones.

**Tabla 3**

*Problemas que se pueden presentar en las soldaduras*

<b>Características</b>	<b>Causas</b>	<b>Remedio</b>
Arco inestable y que se apaga con frecuencia. Muchas proyecciones.	Arco largo	Acortar el arco para conseguir el grado de penetración adecuado

No se produce penetración y el arco se apaga con frecuencia.	Corriente insuficiente para el electrodo utilizado	Aumentar corriente o emplear un electrodo más pequeño
Arco muy ruidoso. El revestimiento funde muy deprisa. Cordón ancho y con muchas y grandes proyecciones.	Corriente excesiva. También puede ser debido a que el electrodo está húmedo	Disminuir corriente. Usar electrodos de mayor diámetro
Soldadura de mal aspecto.	Electrodo inadecuado	Seleccionar otro electrodo
Dificultades de cebado. Penetración escasa.	Polaridad equivocada. Corriente muy baja	Cambiar polaridad o aumentar corriente
Soldadura defectuosa. Difícil cebado.	Piezas sucias	Limpiar piezas de suciedad y escorias
Se producen chispas en la toma de masa.	Conexión defectuosa	Corregir conexión

*Nota.* La tabla muestra los problemas que se pueden presentar en una soldadura. La primera columna muestra las características. La segunda columna muestra las causas. La tercera columna muestra la solución al problema presentado. (Fuente: Gianchino y weeks, 2007, 2017)

### **2.1.18 Definición de válvulas.**

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20 000 lb/in<sup>2</sup> (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia (Pachano y Pérez, 2014, p. 2).

#### ***Tipos de válvulas.***

Existen muchos tipos de válvulas. A continuación, se describe (VAM, 2016, p. 28):

**Válvulas de todo o nada.** Son el tipo de válvulas que permiten o impiden el paso del fluido por el interior de la tubería, pero no son capaces de regular el caudal. Son dispositivos que impiden por completo la circulación del fluido cuando se encuentran cerradas y ofrecen resistencia mínima al paso del fluido cuando se encuentran abiertas.

**Válvulas de mariposa.** La válvula de mariposa es de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación. Se recomiendan encarecidamente para servicio con apertura total o cierre total, servicio con estrangulación, para accionamiento frecuente, cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos y para baja caída de presión a través de la válvula. Todo y ser propensa a la cavitación, presenta ventajas por ser ligera, compacta y de bajo coste y además requiere un mantenimiento mínimo.

**Válvulas de globo.** Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería. Este tipo de válvulas dispone de orificios múltiples y con un control preciso de la circulación. Además, cuenta con una carrera corta del disco y se necesitan pocas vueltas para accionarlas. No es útil usarlas en tramos con grandes caídas de presión y su coste es elevado.

**Válvulas de bola.** Las válvulas de bola son de  $\frac{1}{4}$  de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola  $90^\circ$  y cierra el conducto. Son muy recomendadas para servicios de conducción y corte sin estrangulación, cuando se requiere una apertura rápida y cuando se necesita resistencia mínima a la circulación. Su coste es bajo en comparación con otro tipo de válvulas, funcionan bien en temperaturas moderadas y además requieren poco

mantenimiento y no son propensas a las fugas. Hay que tener en cuenta que este tipo de válvulas son propensas a la cavitación.

**Válvulas de diafragma.** Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación. Son muy recomendadas para servicios de apertura o cierre total, para servicios de estrangulación y en tramos de baja presión. Este tipo de válvulas todo y ser susceptibles al desgaste, tiene un coste muy bajo, no presentan posibilidad de fuga por el vástago y son inmunes a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan por su interior.

**Válvulas reguladoras.** Este tipo de válvulas son de las más usadas en la industria todo y presentar unas pérdidas de carga mayores que las de las válvulas de todo o nada. Este tipo de válvulas se usan para regular el caudal del fluido mediante su grado de apertura. Las válvulas de regulación usadas en este proyecto se describen a continuación:

**Válvulas reguladoras de presión:** Las válvulas reguladoras de presión tienen la función principal de establecer y mantener una presión constante en el sistema actuando como el dispositivo principal de descarga de la presión. Estas válvulas se utilizan en sistemas en los que se requiere un flujo continuo de salida durante todo el tiempo en que la bomba está funcionando (Hawk, 2019, p. 1).

**Regulación en etapa sencilla.** La regulación en etapa sencilla comprende un solo regulador que debe cumplir con la reducción, control y estabilización del flujo de gas. Son aplicadas en estaciones de bajo caudal en el que las exigencias de regulación son pobres.

**Regulación en doble etapa.** Cuando la razón de regulación es grande, se debe realizar el proceso con dos reguladores trabajando en serie y ambos en operación. El primer regulador

realiza una primera disminución de la presión y el segundo termina la regulación del flujo hasta su valor de entrega.

**Regulación monitora.** Consta de dos reguladores en serie en los que trabaja solamente el primero (trabajador) y el segundo (monitor) permanece abierto operando solamente en caso de falla del primero, gracias a que su presión de ajuste es mayor. Los dos reguladores tienen líneas de instrumentación aguas abajo de su punto de instalación. Es un esquema seguro y estable en la presión de entrega.

### **Protocolo de diseño, seguridad y mantenimiento para gasoductos**

Existe una serie de protocolos y procedimientos para el diseño, seguridad y mantenimiento de gasoductos.

Es necesario precisar, que algunos de estos protocolos de diseño, seguridad y mantenimiento descritos en estas líneas subsiguientes, tengan fechas de publicación un poco antiguas, no significan que están en desuso, muy por el contrario, se debe entender que hasta la fecha no ha sido necesario una nueva modificación, en ese sentido, estos protocolos, están plenamente vigentes.

En las líneas siguientes se mencionarán los más importantes, y, sobre todo, aquellos que fueron empleados en el desarrollo de la presente investigación.

#### **2.1.19 Metodología del Procesamiento S-DIO-024.**

Este protocolo se emplea en las estaciones de filtrado, regulación y medición de gas natural. ERP (Cálidda, 2016, pp. 1-37).

El procedimiento S-DIO-024, establece los requerimientos mínimos de diseño y calidad que se deberán cumplir durante el proceso del desarrollo de: ingeniería básica e ingeniería de detalle, y durante la fabricación de una estación de filtrado, regulación y medición de gas

natural (ERP). Este procedimiento a su vez, hace referencia a protocolos de las siguientes normas y procedimientos (Cálidda, 2016, pp. 1-37):

- Manual construcción redes externas gas natural en Lima y Callao para contratistas: M-COO-001.
- Procedimiento de prueba neumática de acero: P-COO-025.
- Procedimiento de prueba resistencia y hermeticidad de redes de acero: P-COO-026.
- Ficha técnica tuberías de acero: S-DIO-003.
- Guía para elaboración, codificación, revisión y aprobación de planos: S-DIO-005.
- Especificación técnica intercambiador de calor: S-DIO-016.
- Guía de asignación de códigos de instrumentación: S-DIO-023.
- Especificación técnica de válvulas tipo bola para instalación de Hot Tap Línea Servicio ERPs: S-DIO-030.
- Especificaciones técnicas de Gasket Filters: S-DIO-038.
- Especificación técnica manómetros: S-DIO-044.
- Especificación técnica de elementos filtrantes: S-DIO-053.
- Especificación técnica equipo calentador: S-DIO-054.
- Especificación técnica indicador temperatura: S-DIO-057.
- Especificación técnica transmisor de presión: S-DIO-058.
- Especificación técnica transmisor de temperatura: S-DIO-059.
- Especificación técnica sistema de calentamiento indirecto de gas natural por fluido térmico: S-DIO-080.

### **2.1.20 Metodología del Procedimiento I-MAN-322.**

También conocido por la prueba de los postes. Procedimiento de prueba de medición de potenciales ON-OFF.

Resumen del protocolo de la norma *Procedimiento de prueba de medición de potenciales* (Cálidda, 2014, pp. 1-4)

- Objetivo, establecer las instrucciones para realizar la medición de potenciales de protección catódica, con lo cual se determina si la corriente de protección catódica aplicada es adecuada.
- Alcance, la medición de potenciales se efectuará en todos los postes de medición ubicados en la troncal y ramales del sistema de distribución (redes de acero).
- Procedimiento de ensayo, verificar el voltaje AC en el ducto en estudio, cuidando que los valores se encuentren por debajo de lo requerido en la Norma NACE RPO 177-2000, es decir, menor a 15 Vac.
- Norma SPO 177-2014 (anteriormente RPO 177-2000) Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems [mitigación de efectos de Corrientes y relámpagos alternos en estructuras metálicas y sistemas de control de corrosión.

### **2.1.21 Metodología de la Norma ASME B31 8-2003.**

(*Gas transmission and distribution piping systems [Sistema de tuberías y transmisión y distribución de gas]*). Establece los requerimientos considerados como necesarios para el diseño seguro y la construcción de tuberías a presión.

Resumen del protocolo de la norma de Gas transmission and distribution piping systems [Sistema de tuberías y transmisión y distribución de gas]:

Inspección y pruebas para control de calidad de soldaduras en sistemas de tubería que tienen el propósito de operar a 20% o más de la tensión mínima de fluencia especificada (ASME, 2003, p. 14).

- La calidad de la soldadura deberá ser verificada mediante inspección no destructiva. La inspección no destructiva podrá consistir en examen radiográfico, pruebas de partícula magnética, u otros métodos aceptables. Queda prohibido usar el método de trepanación no destructiva.
- Los siguientes números mínimos de soldaduras a tope de campo deben ser seleccionadas al azar, por la compañía operadora, de entre las soldaduras realizadas en el día, para exámenes de construcción. Cada soldadura así seleccionada deberá ser examinada en toda su circunferencia o de otra manera las longitudes equivalentes de las soldaduras deberán ser examinadas si es que la empresa operadora escoge examinar solamente una parte de la circunferencia de cada soldadura.
- Todas las soldaduras que sean inspeccionadas deberán cumplir con los estándares de aceptabilidad de API 1104 o deben ser apropiadamente reparadas y reinspeccionadas. Los resultados de la inspección deberán de usarse para controlar la calidad de la soldadura.
- Cuando se emplee la inspección radiográfica, deberá seguirse un procedimiento que cumpla con los requerimientos de API 1104.
- Cuando el tamaño de tubería sea menor a NPS 6, o cuando el proyecto de construcción comprenda un número limitado de soldaduras que haga impráctica la inspección no destructiva, y se tiene el propósito de que la tubería trabaje a 40% o menos de la mínima tensión de fluencia especificada, las disposiciones a, b, c y d no serán obligatorias, siempre que la soldadura se inspeccione



visualmente y sea aprobada por un inspector de soldaduras que esté calificado para ello.

- Además de los requerimientos de inspección no destructiva delineados en las anteriores líneas, la calidad de la soldadura deberá ser controlada continuamente mediante personal calificado para ello.

Reparación o remoción de soldaduras defectuosas en tubería que tiene el propósito de operar a 20% o menos de la mínima tensión de fluencia especificada (ASME, 2003, p. 15).

- Las soldaduras defectuosas deberán ser reparadas o retiradas. Si se hace una reparación, deberá hallarse de acuerdo con API 1104. Los soldadores que efectúen reparaciones, deberán estar calificados de acuerdo con el párrafo 823.2.

**Soportes y anclajes para tubería expuesta (ASME, 2003, p. 25).**

- La tubería y el equipo deberán estar soportados en forma sustancial y como resultado de un buen trabajo, de manera que puedan evitar o reducir la vibración excesiva, y deberán estar lo suficientemente bien anclados, para evitar tensiones indebidas en el equipo conectado.
- Deberán instalarse soportes de apoyo, colgadores y anclajes de manera que no interfieran con la libre dilatación y contracción de la tubería entre anclajes. Se deberán proveer colgadores de resorte adecuados, sujeciones de cimbrado, etc., donde sea necesario.
- Todos los colgadores permanentes, apoyos y anclajes, deberán ser fabricados de materiales durables e incombustibles, y diseñados e instalados en conformidad con las buenas prácticas de ingeniería, para las condiciones deservicio en que se hallen. Todas las partes del equipo de soporte, deberán estar diseñadas e instaladas de manera que no se desenganchen con el movimiento de la tubería que soportan.

**Anclaje para tubería enterrada (ASME, 2003, p. 26).**

- Las curvas o desvíos en la tubería enterrada, hacen que las fuerzas longitudinales tengan que ser resistidas por el anclaje en la curva, mediante restricción debida a la fricción del suelo, o por tensiones longitudinales en la tubería.
- Si la tubería está anclada mediante sujeción en la curva, se deberá tener cuidado de distribuir la carga sobre el suelo de manera que la presión de soporte se halle dentro de los límites de seguridad para el suelo del que se trate.

**Procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la seguridad del transporte de gas y las instalaciones de distribución (ASME, 2003, p. 64).***Plan de operación y mantenimiento (ASME, 2003, p. 64).*

- Plan detallado, cubriendo los procedimientos de operación y mantenimiento para las instalaciones de gas durante las operaciones normales y su reparación.
- Planes para dar atención particular a aquellas porciones de las instalaciones que presentan el mayor peligro para el público en caso de una emergencia o requerimientos de mantenimiento extraordinarios.
- Disposiciones para realizar inspecciones periódicas a lo largo de la ruta de las líneas o ductos principales de acero que operen a una tensión de aro mayor al 40% de la mínima tensión de fluencia especificada del material de la tubería.

*Plan de emergencia (ASME, 2003, p. 64).*

- Establecer por escrito la base de instrucciones para el personal de operación y mantenimiento que vayan a minimizar el riesgo que resulte de una emergencia de gaseoducto.
- Un sistema para recibir, identificar y clasificar las emergencias que requieren respuesta inmediata por parte de la compañía operadora.

- Indicar claramente la responsabilidad de instruir a los empleados en los procedimientos que figuran en las listas de los planes de emergencia.
- Indicar claramente quiénes son los responsables de actualizar el plan.
- Establecer un plan para el manejo inmediato y adecuado de todas las llamadas concernientes a emergencias.
- Establecer un plan para la rápida y efectiva respuesta a un aviso de cada tipo de emergencia.
- Controlar las situaciones de emergencia, incluyendo la acción a tomar por parte del primer empleado que llegue a la escena.

***Investigación de fallas en gasoducto (ASME, 2003, p. 65).***

- Establecer procedimientos para analizar todas las fallas y accidentes para determinar las causas y para minimizar la posibilidad de que el incidente ocurra de nuevo.

***Prevención de ignición accidental (ASME, 2003, p. 65).***

- La acción de fumar y todas las llamas abiertas se deberán prohibir en las estructuras y alrededor de las mismas, o áreas que estén bajo control de la compañía operadora y que contengan instalaciones de gas.
- Cuando una cantidad peligrosa de gas se va a ventear a la atmósfera, cada fuente potencial de ignición deberá primero eliminarse de la zona y se deberán proveer extintores de incendio apropiados. Todas las linternas, artefactos de iluminación, cordones de extensión y herramientas, deberán ser del tipo aprobado para operación en atmósferas peligrosas.
- Se deberán colocar carteles adecuados, e incluso hombres con banderines de señalización o guardias, si es necesario para advertir a otras personas que se estén acercando o ingresando a la zona de peligro. Para evitar la ignición

accidental por arco eléctrico, se deberá conectar un cable de aterramiento adecuado, en cada lado de cualquier tubería que vaya a ser separada o unida, y cualquier rectificador de protección catódica que haya en el área deberá apagarse.

- Cuando se tenga que cortar o soldar con soplete, se deberá realizar primero una inspección minuciosa para verificar la ausencia de una mezcla de gas combustible en la zona por fuera del gasoducto. Se deberá seguir realizando el monitoreo de la mezcla de aire durante todo el transcurso del trabajo.

#### ***2.1.22 Mantenimiento del gasoducto (ASME, 2003, p. 66).***

*Vigilancia periódica de los gasoductos (ASME, 2003, p. 66).*

- Establecer e implementar procedimientos para la vigilancia periódica de sus instalaciones.
- Estudios de circunstancias inusuales de operación, fallas, historial de fugas, caída en la eficiencia de flujo debido a la corrosión interna.

*Patrullaje del gasoducto (ASME, 2003, p. 66).*

- Mantener un programa de patrullaje de gasoductos para observar las condiciones de superficie y adyacentes a cada derecho de vía de un gasoducto.
- Buscar indicaciones de fugas, construcción fuera, peligros naturales y cualquier otro factor que afecten la seguridad y operación del gasoducto.
- Considerar, clima, terreno, diámetro de la línea, presiones de operación y otras condiciones.

#### ***2.1.23 Metodología del Procedimiento P-COO-025.***

Procedimiento de prueba neumática en redes de acero.

Resumen del protocolo de la norma *Procedimiento de prueba neumática en redes de acero* (Cálidda, 2016, pp. 1-4):

- Objetivo, describir el método a emplear para realizar las pruebas neumáticas de tuberías de las redes de acero, que se efectúan en las disposiciones de configuración tales como: tuberías de conexión, acometidas, cruces especiales, spools y derivaciones.
- Alcance, este procedimiento describe los trabajos necesarios para realizar las pruebas neumáticas de tuberías de las redes de acero, en el ámbito de la concesión de la distribución de gas natural.
- Prueba previo ensayo, Las actividades de una prueba neumática se realizan una vez que se hayan culminado satisfactoriamente los ensayos no destructivos en el 100% de las juntas de soldaduras.
- Certificación de los instrumentos de medición, que intervienen directamente en el proceso, deben contar con el certificado de calibración vigente emitido por una entidad registrada. La validación del certificado de calibración es por un (01) año. Asimismo, los equipos que intervienen directamente en el proceso, deben contar con el certificado o constancia de operatividad por el período de un (01) año.
- Juntas de soldadura, deben estar descubiertas para una menor inspección de ellas.
- Prueba neumática, será controlada con instrumentos de presión y temperatura, con rangos apropiados para la medición y que garanticen los parámetros alcanzados, durante la ejecución de la prueba de presión.
- Control de fluidos, se debe contar con un manómetro y un termómetro de contacto.

- Presión de prueba, será como mínimo 1,5 veces la presión de diseño.
- Condiciones del área o zona, en donde se ha instalado las tuberías y por facilidad constructivas, no fuese posible mantener las juntas de soldaduras sin revestir es necesario efectuar el relleno parcial o completar el tapado de las tuberías y tomando en consideración aspectos de seguridad (alto riesgo significativo, etc.) y medio ambiente, se verificará la presión de prueba durante 24 horas como mínimo.

#### **2.1.24 Metodología del Procedimiento P-COO-026.**

Procedimiento de prueba resistencia y hermeticidad de redes de acero.

Resumen del protocolo de la norma Procedimiento de prueba resistencia y hermeticidad de redes de acero (Cálidda, 2017, pp. 1-10):

- Objetivo, describir el método a emplear para realizar la prueba de resistencia y hermeticidad de las tuberías de acero que forma parte del sistema de distribución del gas natural.
- Alcance, este procedimiento aplica a todas las pruebas de resistencia y hermeticidad de las tuberías instaladas o tramos parciales de tuberías de acero, durante la realización de las actividades de construcción de redes de distribución.
- Prueba previo ensayo, las actividades de prueba de resistencia y hermeticidad, se realizan una vez que se hayan culminado satisfactoriamente los ensayos no destructivos en el 100% de las juntas de soldadura.
- Certificación de los instrumentos de medición, que intervienen directamente en el proceso, deben contar con el certificado de calibración vigente emitido por una entidad registrada. La validación del certificado de calibración es por un (01) año. Asimismo, los equipos que intervienen directamente en el proceso,

deben contar con el certificado o constancia de operatividad por el período de un (01) año.

- Sistema de comunicación, durante el proceso preliminar y ejecución de la prueba de resistencia y hermeticidad se debe contar con un celular en ambos extremos del tramo de prueba.
- Calidad del agua, para garantizar la calidad de los resultados del análisis de agua a utilizar en la prueba, tendrán una duración de 06 meses, mientras se mantenga el mismo lugar de procedencia.
- Prueba de presión, la prueba de resistencia y hermeticidad consistirá en una prueba de presión, donde se controla presión y temperatura mediante un registrador de presión y temperatura, un manómetro y dos termómetros, uno de fluido y otro de contacto donde son controlados los medios de prueba (agua, aire y suelo); en el otro extremo se instalará un manómetro y un termómetro de fluido.
- Nivelación térmica, una vez el llenado con agua y antes de lograr la presión de prueba se deberá lograr una nivelación térmica entre el agua y el suelo circundante. La nivelación térmica se considerará obtenida cuando la diferencia de temperaturas entre el suelo y la tubería sea menor o igual a 1 °C a 5 bar de presión, la medición de temperatura del suelo se dará a una distancia no menor de 0,5 m, ambas lecturas obtenidas en un lapso no menor a 2 horas.
- Estabilización, alcanzada la presión referencial del 80% del valor de prueba, se deberá mantener presurizado el tramo de prueba durante un lapso mínimo de 3 horas, a los efectos de disolver el aire. Posteriormente se debe purgar o añadir un volumen de agua (Vap) que modifique la presión en aproximadamente  $P = 2$  bar. La cantidad de agua purgada o añadida y la variación de la presión se

deberán medir y registrar. La condición de estabilización comprende la ocupación del medio, agua, en su mayor proporción. La estabilización puede considerarse cumplida si el volumen purgado o añadido de agua ( $V_{ap}$  en litros) dividido por el incremento de presión ( $P$  en bar), es superior a  $0,96 V_a$  e inferior a  $1,06 V_a$ .

- Prueba de resistencia, una vez medidos y registrados los puntos mencionados anteriormente, se dará comienzo a la prueba de resistencia. La presión de prueba, se verificará en el extremo de mayor cota altimétrica. Se deberá mantener la prueba de resistencia durante 08 horas como mínimo, período durante el cual se realizará el control instrumental y visual.
- Prueba de hermeticidad, concluida la prueba de resistencia, se mantendrá la presión dando inicio a la prueba de hermeticidad. Se mantendrá la tubería bajo presión durante el tiempo indicado en el Anexo 1. Se mantendrá la prueba de hermeticidad durante 24 horas como mínimo. Durante la prueba de hermeticidad se registrará cada 15 minutos los valores de presión y temperatura.

### ***2.1.25 Metodología del Procedimiento P-COO-015.***

Procedimiento de planificación y uso de END en redes de acero.

Resumen del protocolo de la norma Procedimiento de planificación y uso de END en redes de acero (Cálidda, 2016, pp. 1-3):

- ***Uso de los END (Ensayos no destructivos)***, las actividades de planificación y uso de END, se realizan para las juntas de soldaduras aprobadas por inspección visual de acuerdo al estándar API 1104, ASME o, norma aplicable
- ***Personal calificado***, la empresa que realice los servicios de END, debe contar con personal certificado de acuerdo a la *Recommended Practique N° SNT TC 1A*, perteneciente a la ACCP u otro programa de certificación reconocido.



- **Inspección visual**, realizada la inspección visual y aprobada bajo los criterios de aceptación API 1104, ASME o, normativa aplicable, las juntas soldadas serán inspeccionadas por END.
- Las inspecciones por END de las juntas, se comunican al ingeniero de proyectos. No se permitirá dos reparaciones continuas en una junta soldada.

#### **2.1.26 Metodología de la Norma API 6D.**

(*American Petroleum Institute [Instituto Americano de Petróleo]*). Es la mayor asociación comercial de Estados Unidos para la industria del petróleo y el gas natural, representa a cerca de 650 corporaciones involucradas en la producción, refinamiento, distribución y muchos otros aspectos de la industria petrolera.

Resumen del protocolo de la norma *Pipeline valves [Válvulas de tubería]* (API, 2002, pp. 1-82):

##### **Tipos de válvulas y configuraciones**

- **Válvulas de compuerta**, las configuraciones típicas para válvulas de compuerta con bridas y extremos de soldadura. Las válvulas de compuerta deben tener un obturador que se mueva en un plano perpendicular a la dirección del flujo. La compuerta puede construirse de una sola pieza para las válvulas de compuerta de las losas o de dos o más piezas para las válvulas de las compuertas de expansión. Las válvulas de compuerta deben estar provistas de una función de sellado del asiento trasero o del vástago secundario, además del sello primario del vástago.
- **Válvulas de tapón lubricadas y no lubricadas**, las válvulas de enchufe deben tener un obturador cilíndrico o cónico que gira alrededor de un eje perpendicular a la dirección del flujo.

- **Válvulas de bola**, las válvulas de bola deben tener un obturador esférico que gira sobre un eje perpendicular a la dirección del flujo.
- **Válvulas de retención**, las válvulas de retención también pueden ser del tipo de obleas. Las válvulas de retención deben tener un obturador que responda automáticamente para bloquear el fluido en una dirección.
- **Válvulas de apertura completa**, las válvulas de apertura completa deben estar libres de obstrucciones en la posición completamente abierta y tener un orificio interno. No hay restricción en el límite superior de los tamaños del diámetro interior de la válvula.
- **Válvulas de apertura reducida**, el orificio interno de las válvulas de apertura reducida debe ser menor que el orificio interno.

#### **Requisitos de prueba de resistencia**

- Todos los aceros al carbono y de baja aleación para piezas con presión en válvulas con una temperatura de diseño especificada inferior a  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) deberán someterse a prueba de impacto utilizando la técnica Charpy V-notch de acuerdo con ISO 148 o ASTM A 370.
- Se debe realizar un mínimo de una prueba de impacto, que comprende un conjunto de tres muestras, en una barra de prueba representativa de cada calor del material en la condición final tratada con calor.
- La prueba de resistencia se puede realizar durante la calificación del procedimiento de fabricación de la válvula siempre que el material para la prueba se termotratado utilizando el mismo equipo que durante la producción de la válvula.
- La temperatura de la prueba de impacto será la definida en las especificaciones de materiales aplicables y la norma / código de diseño de tuberías.

## **Soldadura**

- Prueba de impacto, las pruebas de impacto se deben llevar a cabo para la calificación de los procedimientos de soldadura en válvulas con una temperatura de diseño inferior a  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Se debe tomar un conjunto de tres muestras de impacto de metal de soldadura desde el metal de soldadura (WM). Las muestras deben estar orientadas con la muesca perpendicular a la superficie del material. Las pruebas de HAZ deben realizarse para cada uno de los materiales que se unen cuando los materiales base que se unen son de un número P y / o grupo diferente de acuerdo con la Sección IX de ASME o cuando uno o ambos materiales básicos que se unen no están listados en la agrupación de números P. La temperatura de la prueba de impacto para las soldaduras y las zonas afectadas por el calor debe ser igual o inferior a la temperatura de diseño mínima especificada para la válvula.
- Prueba de dureza, se deben realizar ensayos de dureza para la calificación de procedimientos para soldar piezas que contienen presión y que controlan la presión en válvulas requeridas para cumplir con NACE MR 0175. Los levantamientos de dureza deben realizarse en metal base (BM), WM y HAZ, utilizando el Rockwell HRC o el método Vickers HV10.

## **Equipo de medida y prueba**

- **General, el equipo utilizado para inspeccionar**, probar o examinar material o equipo se debe identificar, controlar y calibrar a los intervalos especificados en las instrucciones del fabricante.
- **Equipo de medición de dimensiones**, el equipo para medir las dimensiones se debe controlar y calibrar de acuerdo con los métodos especificados en los procedimientos documentados.

### **Dispositivos de medición de presión**

- **Tipo y precisión**, los dispositivos de medición de presión de prueba deben ser manómetros o transductores de presión con una precisión de  $\pm 2,0\%$  de la lectura a escala completa.
- **Rango de calibración**, las mediciones de presión se realizarán entre el 25% y el 75% del rango de presión total del dispositivo de medición.
- **Procedimiento de calibración**, los dispositivos de medición de presión se deben recalibrar periódicamente con un dispositivo maestro de medición de presión o un dispositivo de medición de peso muerto al 25%, 50%, 75% y 100% de la escala de presión completa.
- **Dispositivos de medición de temperatura**, los dispositivos para medir la temperatura, de ser necesarios, deberán ser capaces de indicar y registrar fluctuaciones de temperatura de 3 °C (5 °F).

#### ***2.1.27 Metodología del Procedimiento S-DIO-30.***

Especificación técnica de válvulas tipo bola para instalación de Hot Tap - línea - Servicio ERPs

Resumen del protocolo de la norma Especificaciones técnicas de válvulas tipo bola para instalación de Hot Tap - Línea - Servicio - ERPs (Cálidda, 2013, pp. 1-7):

- **Objetivo**, establecer las especificaciones técnicas necesarias que deben cumplir las válvulas tipo bola que serán instaladas en los Hot Taps, válvulas de servicio en cámara o enterrada y en las estaciones reguladores de presión para el sistema de distribución, ERPs.
- **Alcance**, redes de acero y estaciones de servicio para distribución de gas natural.

- **Revisión general de las válvulas**, según la especificación técnica, revisar: 1) diámetro de válvula. 2) tipo. 3) tipo accionamiento. 4) servicio. 5) función. 6) diseño. 7) diseño antifuego. 8) certificado del equipo. 9) recubrimiento externo. 10) prueba hidrostática. 11) sistema de calidad. 12) marcado. 13) repuestos. 14) asistencia técnica. 15) garantía.
- **Revisión general del cuerpo, según la especificación técnica, revisar:** 1) tipo de cuerpo. 2) serie. 3) extremos. 4) empaquetadura. 5) material.
- **Revisión general de la esfera**, según la especificación técnica, revisar: 1) tipo. 2) material.
- **Revisión general del asiento**, según la especificación técnica, revisar: 1) tipo. 2) material asientos. 3) mantto (Sistema secundario de inyección de sellante - esfera y vástago-).
- **Revisión general del vástago**, según la especificación técnica, revisar: 1) material. 2) diseño. 3) sello.
- **Revisión general del servicio**, según la especificación técnica, revisar: 1) máxima presión de operación. 2) fluido. 3) temperatura de operación. 4) gravedad específica. 5) sólidos.

#### ***2.1.28 Metodología de la Norma ISO 14313: 1999.***

(Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems - Pipeline valves  
[Industrias de petróleo y gas natural - Sistemas de transporte de tuberías - Válvulas de tuberías].

Esta norma especifica los requisitos y proporciona recomendaciones para el diseño, fabricación, pruebas y documentación de las válvulas de bola, control, compuerta y tapón para aplicaciones en sistema de tuberías que cumplan con los requisitos de ISO 13623 para las industrias de petróleo y gas natural.

### III. Método

A continuación, se describe la metodología utilizada para responder a las preguntas de investigación planteadas al inicio del estudio.

#### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación contempló una *investigación aplicada*, puesto que, sus conclusiones se pueden extrapolar y aplicar a otras investigaciones similares.

La investigación aplicada, permitirá la aplicación de conocimientos teóricos, aplicarlas en determinadas situaciones concretas y las consecuencias prácticas que ella emane.

#### Nivel de investigación

La investigación ha desarrollado un nivel de *investigación descriptivo y explicativo*, es decir, no se pueden manipular deliberadamente las variables; está basada en la observación de los fenómenos.

Lo postulado por OSINERGMIN (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), que el metano contenido en el gas natural, contamina el medio ambiente; en consecuencia, el haber demostrado la fuga de gas natural, demostró la incidencia de la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

#### 3.2 Población y muestra

##### Población

El concepto de población, es en términos estadísticos, esto quiere decir, que no se refiere al número de personas que viven en un lugar determinado, sino, al conjunto finito o infinito de objetos que presentan una característica común.

Para la determinación de la fuga de gas natural en la línea de transmisión de gas natural, se realizaron lecturas de las válvulas extremas.

La investigación duró 24 meses, realizando registros cada dos meses, en consecuencia, se realizaron 12 registros en la presente investigación, por tanto, 12 registros en la población de estudio.

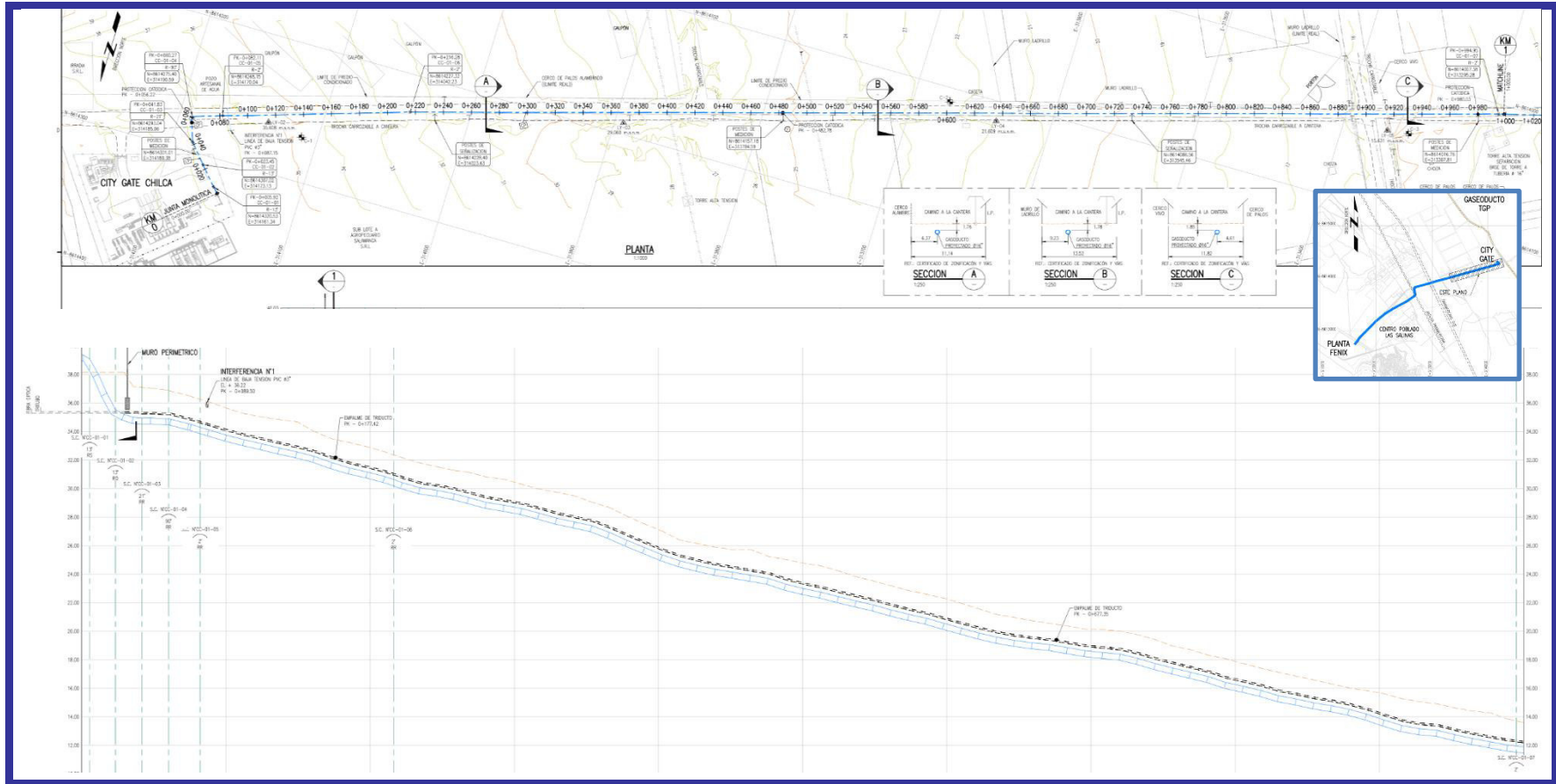
### **Muestra**

Una muestra, en términos estadísticos, es un subconjunto de la población, viene a ser una porción de la población, un subconjunto de la población, siendo esta, la representación de la población.

Para la presente investigación, es un muestreo no probabilístico, debido a que el investigador ha seleccionado muestras basadas en un juicio subjetivo, en lugar de hacer la selección al azar.

De manera que se requiere realizar el análisis en toda la línea de transmisión de gas natural, con la finalidad de no dejar de determinar la fuga de gas, en este sentido, el tamaño de la muestra es igual al tamaño de la población, es decir, 12 registros.

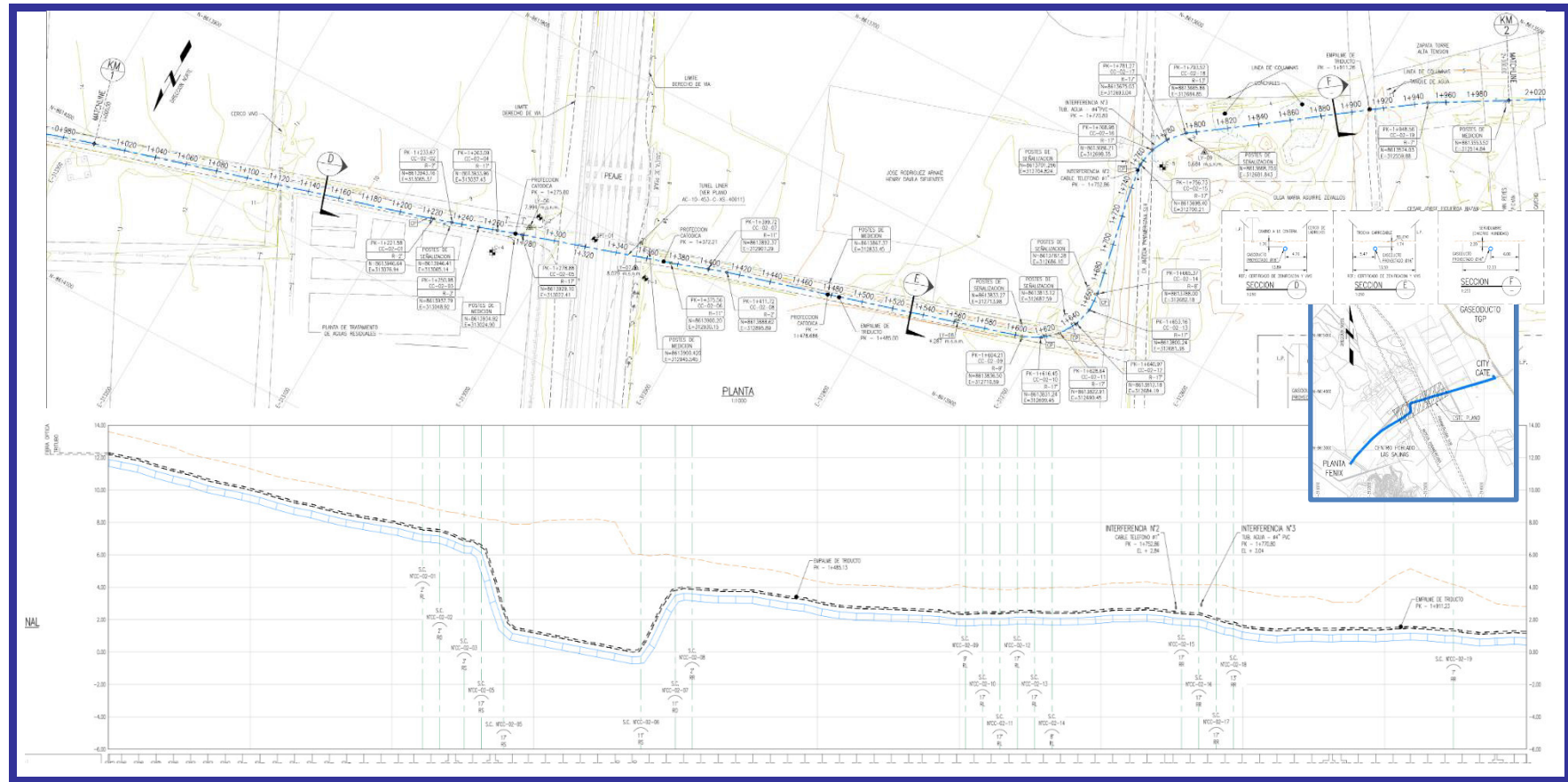
**Figura 1**  
*Línea de transferencia del gas natural, tramo 1*



Fuente: Cortesía de la empresa que transporta el gas natural (2019)



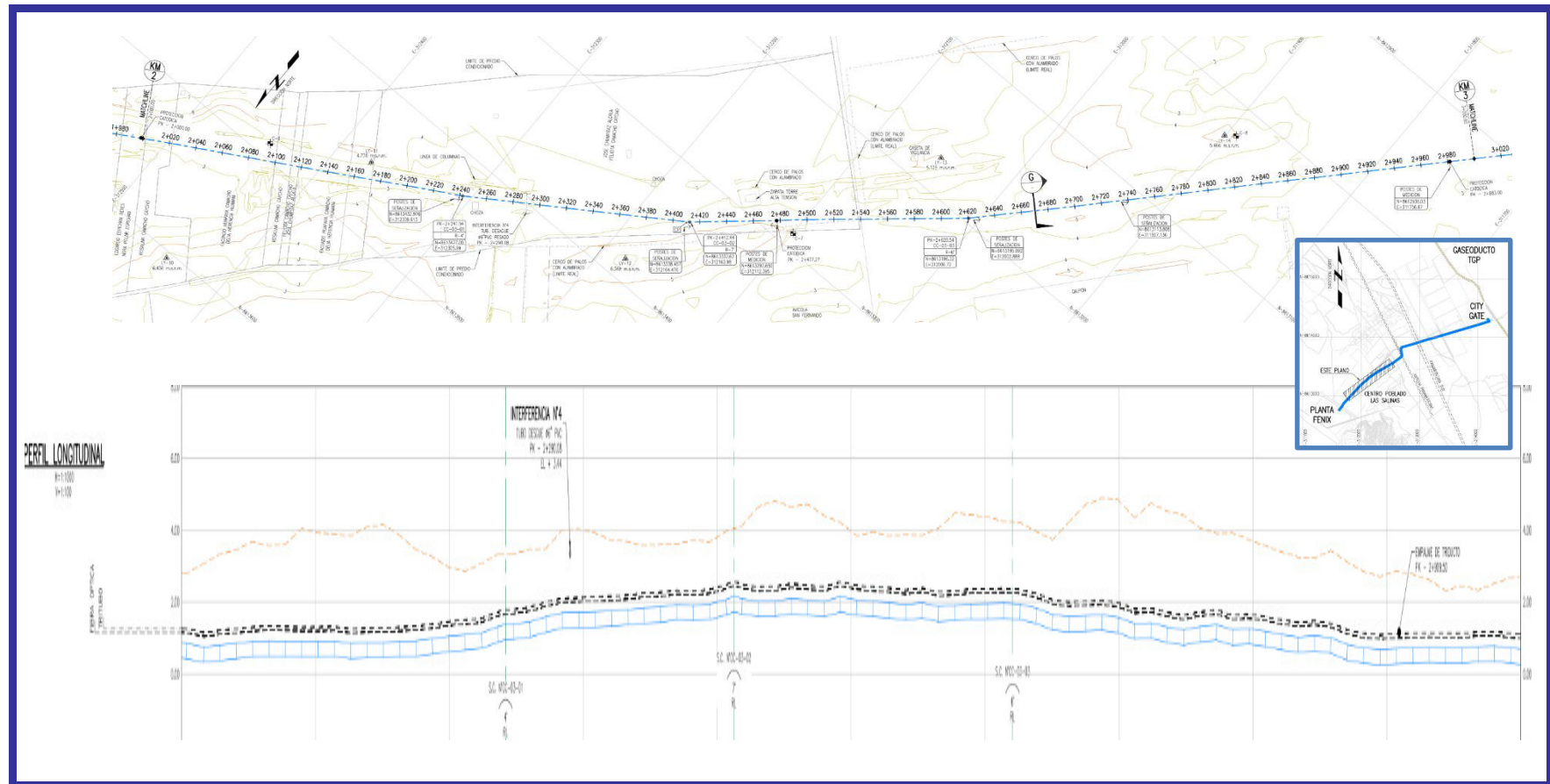
**Figura 2**  
*Línea de transferencia del gas natural, tramo 2*



Fuente: Cortesía de la empresa que transporta el gas natural (2019)

Figura 3

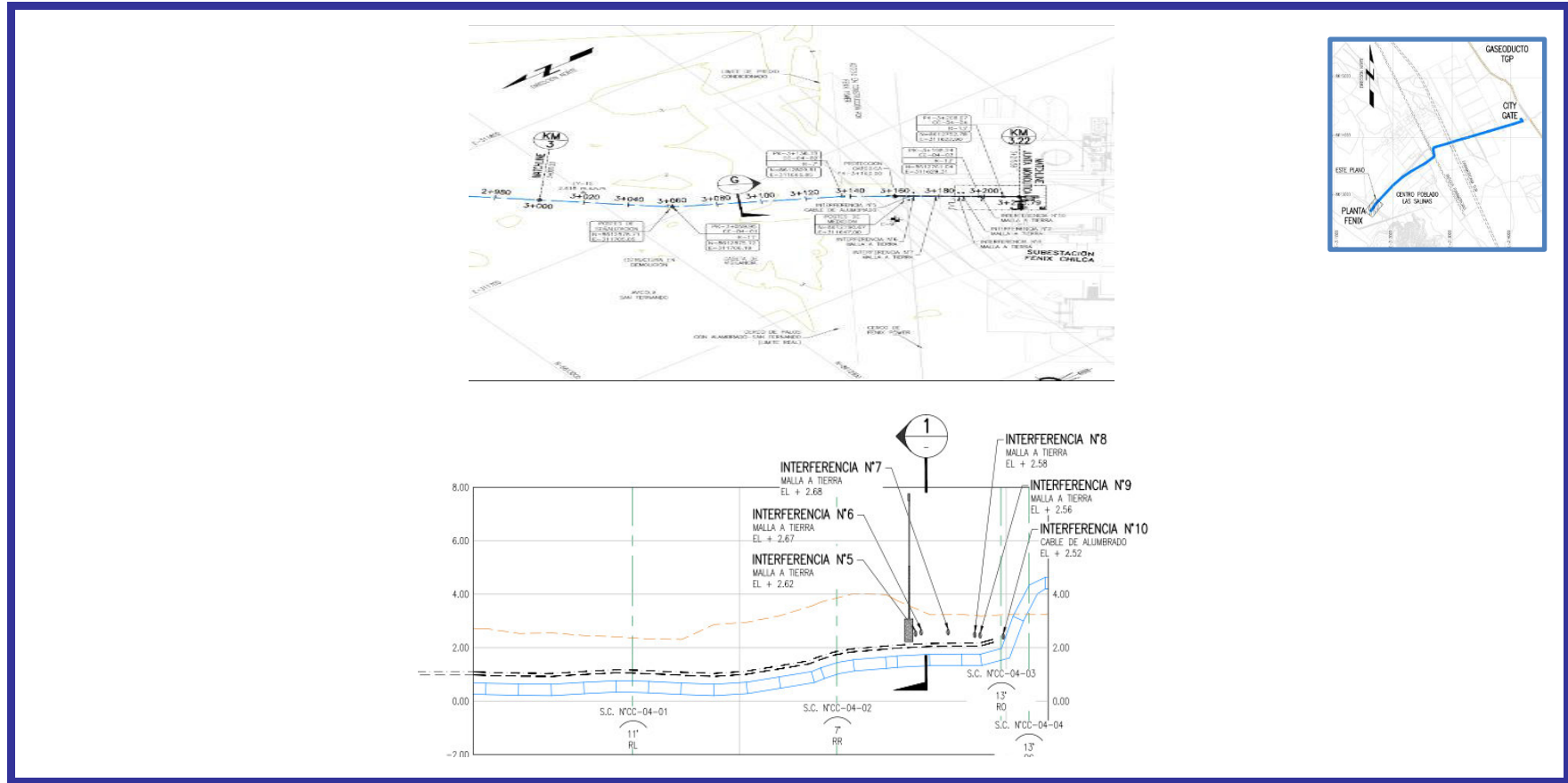
Línea de transferencia del gas natural, tramo 3



Fuente: Cortesía de la empresa que transporta el gas natural (2019)

**Figura 4**

*Línea de transferencia del gas natural, tramo 4*



Fuente: Cortesía de la empresa que transporta el gas natural (2019)

### Tipo de muestreo

- Para la hipótesis general:

En esta etapa de la investigación, consistió en la demostración de la fuga de gas, a través del gasoducto, se consideró el análisis en las válvulas de la línea de transmisión, ubicada en ambos extremos.

El gasoducto cuenta con dos válvulas extremas, una en cada extremo.

Se realizó un muestreo no aleatorio (o de juicio), es decir, a juicio del tesista, las dos válvulas extremas del gasoducto fueron analizados.

- Para la hipótesis específica 1:

En esta etapa de la investigación, consistió en la demostración de fuga de gas, a través del gasoducto propiamente dicho. El gasoducto cuenta con 10 postes de medición, dividiéndola en diez secciones. Entre poste y poste de medición se forma una sección longitudinal (Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4).

Para el análisis físico del gasoducto, que mide 3,160 metros, se ha tenido que “dividirlo” (Tabla 4) para su respectivo análisis.

**Tabla 4**

*Secciones longitudinales del gasoducto*

Número de sección	Poste de medición	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	Tramo	Figura
1	0 - 1	40	40	1	1
2	1 - 2	443	483	1	1
3	2 - 3	497	980	2	2
4	3 - 4	296	1,276	2	2
5	4 - 5	96	1,372	2	2
6	5 - 6	97	1,479	2	2
7	6 - 7	521	2,000	3	3
8	7 - 8	477	2,477	3	3
9	8 - 9	506	2,983	3	3
10	9 - 10	177	3,160	4	4

*Nota:* La tabla muestra las diez secciones en que la empresa encargada del transporte del gas natural, ha dividido el gasoducto, que mide 3,160 m. las longitudes de las diez secciones no son iguales, esto se debe a la geografía del terreno.(Tomado Registro de la observación, Olaza, 2019)

Se realizó un muestreo no aleatorio (o de juicio), es decir, a juicio del tesista, las diez secciones longitudinales del gasoducto fueron analizadas.

- Para la hipótesis específica 2:

En esta etapa de la investigación, consistió en la demostración de fuga de gas, a través de las válvulas instaladas en la línea de transmisión de gas natural.

El gasoducto cuenta con 40 válvulas instaladas en el gasoducto.

Se realizó un muestreo no aleatorio (o de juicio), es decir, a juicio del tesista, las 40 válvulas instaladas en el gasoducto fueron analizadas.

- Para la hipótesis específica 3:

En esta etapa de la investigación, consistió en la demostración de fuga de gas, por actividades antropogénicas realizadas en el gasoducto.

Las operaciones de mantenimiento se ciñen a un protocolo, y se dividen en cuatro secciones. La primera cuadrilla es responsable de la estación de control, la segunda cuadrilla es responsable del primer kilómetro, la tercera cuadrilla es responsable del segundo kilómetro, y, la cuarta cuadrilla es responsable del último kilómetro.

Se realizó un muestreo no aleatorio (o de juicio), es decir, a juicio del tesista, las 4 secciones de mantenimiento en el gasoducto fueron analizadas.

### **Selección de la muestra**

La selección de la muestra se ha realizado según la hipótesis demostrada:

- Para la hipótesis general:

No hubo muestreo, se consideraron todos los elementos de esta población.

- Para la hipótesis específica 1:

No hubo muestreo, se consideraron todos los elementos de esta población.

- Para la hipótesis específica 2:

No hubo muestreo, se consideraron todos los elementos de esta población.

- Para la hipótesis específica 3:

No hubo muestreo, se consideraron todos los elementos de esta población.

### **3.3 Operacionalización de variables**

La operacionalización de las variables, permitió no sólo definir las sino también encontrar la relación entre las variables independientes y la variable dependiente. Por otro lado, hizo posible identificar el elemento de medida (indicador) de las variables, e, indicar el instrumento de cuantificación del indicador.

En la presente investigación se definió una variable independiente y una variable dependiente (Tabla 5), y sus respectivas dimensiones.

**Tabla 5***Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica (método de evaluación)</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Tipo de valor</b>
Variable independiente: Fuga de gas natural.	Uniones defectuosas	Observación	Guía de observación	Unidades	Valor discreto
	Válvulas instaladas defectuosas				
	Actividades antropogénicas				
<b>Variable dependiente:</b> Contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	Deformaciones en las uniones soldadas	Observación de las uniones soldadas	Equipo de prueba radiográfico para tuberías	Unidades radiográficas	Valor discreto
	Fisuras en las uniones soldadas				
	Poros en las uniones soldadas				
	Defectos en los sellos de las válvulas	Observación de las válvulas instaladas	Equipo de prueba para válvulas	Unidades	Valor discreto
	Defectos en los asientos de las válvulas				
	Defectos en los manómetros de las válvulas				
	Manipulación indebida en las válvulas	Observación de la línea de transmisión	Lista de cotejo	Unidades	Valor discreto
Manipulación indebida en los manómetros					
Manipulación indebida en los postes					

*Nota:* Fuente Metodología propuesta para la investigación, Olaza (2019)

### **Técnica de la investigación**

El planteamiento del problema de la presente investigación, el bosquejo de su viable solución, y la definición de sus variables y respectivos indicadores; ha permitido desarrollar el desarrollo de la investigación enmarcado en el método científico, el cual permitió contrastar las hipótesis. La técnica empleada ha sido según la hipótesis demostrada:

#### **Para la hipótesis general:**

24 observaciones mensuales de las lecturas de las válvulas, para los días de sol, se tuvo que equipar con protectores solares.

#### **Para la hipótesis específica 1:**

Observación de:

- deformaciones en las uniones soldadas,
- fisuras en las uniones soldadas,
- poros en las uniones soldadas.

#### **Para la hipótesis específica 2:**

Observación de:

- defectos en los sellos de las válvulas,
- defectos en los asientos de las válvulas,
- defectos en los manómetros de las válvulas.

#### **Para la hipótesis específica 3:**

Observación de:

- manipulación indebida de las válvulas,
- manipulación indebida de los manómetros,
- manipulación indebida en los postes.



### 3.4 Instrumentos

Los instrumentos empleados han permitido recoger los datos de la presente investigación, asociadas a las variables establecidas, con la finalidad de poder demostrar las hipótesis planteadas.

El instrumento empleado ha sido según la hipótesis demostrada:

- **Para la hipótesis general:**

Para determinar la fuga de gas en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, se ha empleado la guía de observación como instrumento, para el registro de las lecturas de las válvulas.

La Figura 5, muestra la matriz para el registro de datos de campo, después de la inspección y evaluación del gasoducto, para determinar la existencia, o no existencia, de fuga de gas natural.

- **Para la hipótesis específica 1:**

Para determinar la fuga de gas por las uniones defectuosas del gasoducto, en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, se ha empleado como instrumento, el equipo radiográfico para tuberías.

La Figura 6, muestra la matriz para el registro de datos de campo, después de la inspección y evaluación de las uniones defectuosas, para determinar la existencia, o no existencia, de fuga de gas natural, por este medio.

- **Para la hipótesis específica 2:**

Para determinar la fuga de gas por válvulas en mal estado en el gasoducto, en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, se ha empleado como instrumento, los equipos de prueba para válvulas.

La Figura 7, muestra la matriz para el registro de datos de campo, después de la inspección y evaluación de las válvulas instaladas, para determinar la existencia, o no existencia, de fuga de gas natural, por este medio.

- **Para la hipótesis específica 3:**

Para determinar la fuga de gas por causas antropogénicas en el gasoducto, en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, se ha empleado como instrumento, la lista de cotejo.

La Figura 8, muestra la matriz para el registro de datos de campo, después de la observación del accionar de los ingenieros y personal de mantenimiento, para observar la correcta manipulación de válvulas, manómetros y postes, y determinar la existencia, o no existencia, de fuga de gas natural, por este medio.

**Figura 5**

*Formato para el registro de la inspección del gasoducto*

Tramo del gasoducto (m)	0 - 1,000		1,000 - 2,000		2,000 - 3,000		3,000 - 3,300		Fecha									
Sector del tramo	+ 10		+ 20		+ 30		+ 40		+ 50		+ 60		+ 70		+ 80		+ 90	
Contaminación ambiental	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Línea de transmisión de gas natural																		
Uniones defectuosas																		
Válvulas instaladas																		
Gasoducto																		

*Nota.* La tabla muestra el formato para registrar la fuga de gas en la línea de transmisión de gas natural. Permite registrar el punto de ubicación y a la fecha de registro. Es un registro disyuntivo, sí, o no, en un punto determinado. Admite registrar el medio responsable de fuga de gas: Uniones defectuosas, válvulas instaladas o, paredes del gasoducto. Adaptada de Registro para datos, según metodología propuesta, Olaza (2019)

**Figura 6**

*Formato para el registro de la inspección de las uniones defectuosas*

Tramo del gasoducto (m)	0 - 1,000		1,000 - 2,000		2,000 - 3,000		3,000 - 3,300		Fecha									
Sector del tramo	+ 10		+ 20		+ 30		+ 40		+ 50		+ 60		+ 70		+ 80		+ 90	
Fuga de gas natural	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Uniones defectuosas																		
Deformaciones en las uniones soldadas																		
Fisuras en las uniones soldadas																		
Poros en las uniones soldadas																		

*Nota.* La tabla muestra el formato para registrar la fuga de gas natural a través de uniones defectuosas. Permite registrar el punto de ubicación y a la fecha de registro. Es un registro disyuntivo, sí, o no, en un punto determinado. Admite registrar el medio responsable de fuga de gas: Deformaciones en las uniones soldadas, fisuras en las uniones soldadas o, poros en las uniones soldadas. (Fuente: Registro para datos, según metodología propuesta, Olaza (2019))

**Figura 7**

*Formato para el registro de la inspección de las válvulas instaladas*

Tramo del gasoducto (m)	0 - 1,000		1,000 - 2,000		2,000 - 3,000		3,000 - 3,300		Fecha									
Sector del tramo	+ 10		+ 20		+ 30		+ 40		+ 50		+ 60		+ 70		+ 80		+ 90	
Fuga de gas natural	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Válvulas instaladas																		
Defectos en los sellos de las válvulas																		
Defectos en los asientos de las válvulas																		
Defectos en los manómetros de las válvulas																		

*Nota:* La tabla muestra el formato para registrar la fuga de gas natural a través de válvulas instaladas. Permite registrar el punto de ubicación y a la fecha de registro. Es un registro disyuntivo, sí, o no, en un punto determinado. Admite registrar el medio responsable de fuga de gas: Defectos en los sellos de las válvulas, defectos en los asientos de las válvulas o, defectos en los manómetros de las válvulas. Fuente: Registro para datos, según metodología propuesta, Olaza (2019)

**Figura 8**

*Formato para el registro de la inspección del gasoducto*

Tramo del gasoducto (m)	0 - 1,000		1,000 - 2,000		2,000 - 3,000		3,000 - 3,300		Fecha									
Sector del tramo	+ 10		+ 20		+ 30		+ 40		+ 50		+ 60		+ 70		+ 80		+ 90	
Fuga de gas natural	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Gasoducto																		
Manipulación indebida de las válvulas																		
Manipulación indebida de los manómetros																		
Manipulación indebida en los postes																		

*Nota.* La tabla muestra el formato para registrar la fuga de gas natural a través por actividades antropogénicas. Permite registrar el punto de ubicación y a la fecha de registro. Es un registro disyuntivo, sí, o no, en un punto determinado. Admite registrar el medio responsable de fuga de gas: Manipulación indebida de las válvulas, manipulación indebida de los manómetros o, manipulación indebida de los postes. Fuente: Registro para datos, según metodología propuesta, Olaza (2019)

### **Validación de instrumentos por juicios de expertos**

Los instrumentos en la presente investigación, han estado estrechamente relacionados con las técnicas de la investigación. Estos instrumentos, empleados para la recolección de los datos, han sido validados previamente, para determinar la exactitud de los mismos.

Los especialistas que validaron los instrumentos empleados en la presente investigación, evaluaron de manera independiente: la relevancia, coherencia, suficiencia y claridad, con la que están elaborados los instrumentos de la investigación.

Los especialistas que determinaron el grado de confiabilidad de los instrumentos empleados en la presente investigación, evaluaron, la consistencia y coherencia, que producen los instrumentos de la investigación.

### **3.5 Procedimientos**

#### *Delimitación del área de estudio:*

Para determinar la contaminación ambiental producido por fuga natural en la línea de transmisión de gas natural, se debe de tener presente que el recorrido de la línea de transmisión es de 3,315 km (100 m dentro de la estación de control y 3,215 km del gasoducto, propiamente dicho), y está ubicado en el distrito de Chila, provincia de Cañete, departamento de Lima, en ese sentido se delimitó el área de estudio de la presente investigación.

#### Determinación de la fuga de gas natural en la línea de transmisión de gas natural.

Para poder determinar fuga de gas natural en la línea de transmisión de gas natural, se procedió de la siguiente manera:

- Se inspeccionan las lecturas de las válvulas de entrada (a la entrada de la estación de control) y de salida de la línea de transmisión de gas natural (al final del gasoducto).

- Ambas válvulas se encuentran en los extremos de la línea de transmisión del gas natural, es decir, distan 3,315 km (100 m, dentro de la estación de control y 3,215 km del gasoducto, propiamente dicho) una de otra.
- Registro de lectura, presente y a futuro, de los manómetros correspondientes.
- Determinación de fuga de gas en la línea de transmisión, mediante las ecuaciones de conservación de materia Lomonósov (1745) - Lavoisier (1785), en una unidad de tiempo, además de las ecuaciones de los gases ideales.

Se siguió el protocolo del Procedimiento S-DIO-024 (Capítulo 2), referido al filtrado, regulación y medición de gas natural.

Inspección y prueba en el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural.

Se inspeccionó el gasoducto en toda la línea de transmisión del gas natural, considerando la posibilidad de encontrar la fuga de gas, a través del casco del ducto y/o a través de las uniones soldadas del mismo, para lo cual se consideraron las siguientes normas y procedimientos, y sus respectivos protocolos:

- Procedimiento I-MAN-322 (Capítulo 2), referido a la prueba de los postes.

Para la realización de la prueba de los postes, de acuerdo a la metodología propuesta, se tuvo que identificar y ubicar (Tabla 6) los postes en estudio.

**Tabla 6**

*Ubicación de los postes de medición en el gasoducto*

<b>Poste de medición</b>	<b>Ubicación (m)</b>	<b>Tramo</b>	<b>Figura</b>
1	0 + 040	1	1
2	0 + 483	1	1
3	0 + 980	2	2
4	1 + 276	2	2
5	1 + 372	2	2
6	1 + 479	2	2
7	2 + 000	3	3
8	2 + 477	3	3



9	2 + 983	3	3
10	3 + 160	3	3

*Nota.* La tabla muestra la ubicación de los postes, en metros, desde el inicio del gasoducto, para su respectivo análisis. Fuente: Registro de la observación, Olaza (2019)

- Norma ASME B31 8-2003 (Capítulo 2), referido al diseño y construcción de tuberías a presión. Basados en los capítulos:

826.2, inspección y pruebas de control de calidad de soldadura en sistemas de tubería,

827, reparación o remoción de soldaduras defectuosas en tuberías,

8.3.4, soportes y anclajes para tuberías expuestas, y,

835, anclaje para tubería enterrada.

- Procedimiento P-COO-025 (Capítulo 2), referido a la prueba neumática en redes de acero.
- Procedimiento P-COO-026 (Capítulo 2), referido a la prueba de resistencia y hermeticidad de redes de acero.
- Procedimiento P-COO-015 (Capítulo 2), referido a la planificación y uso de END en redes de acero.

Inspección y prueba de las válvulas en la línea de transmisión de gas natural.

Se inspeccionó las válvulas de la línea de transmisión de gas natural, la válvula de entrada (en la entrada de la estación de control) y la válvula de salida (al final del gasoducto).

Además de la inspección de todas las válvulas ubicadas entre estas dos válvulas indicadas. Se realizó las siguientes acciones:

- se revisaron los defectos en los sellos de las válvulas,
- se inspeccionaron los defectos en los asientos de las válvulas,
- se inspeccionaron los manómetros de las válvulas.

Para tal efecto, se consideraron las siguientes normas y procedimientos, y sus respectivos protocolos:

- Norma API 6D (Capítulo 2), referidas a las válvulas.
- Procedimiento S-DIO-024 (Capítulo 2), referido al filtrado, regulación y medición de gas natural.
- Procedimiento S-DIO-030 (Capítulo 2), referidas a las válvulas tipo bola.
- Norma ISO 14313: 1999 (Capítulo 2), referidas al diseño, fabricación, pruebas y documentación de válvulas.

Seguimiento y monitoreo de las actividades de los operarios en la línea de transmisión de gas natural.

Se siguió el siguiente protocolo:

- inspección visual de las actividades de los operarios de monitoreo y mantenimiento del gasoducto,
- seguimiento y monitoreo de las actividades de los operarios de monitoreo y mantenimiento del gasoducto.

Para tal efecto, se consideró el protocolo del Procedimiento ASME B31 8-2003 (Capítulo 2). Basado en el capítulo V de la Norma, *Procedimiento de operación y mantenimiento*:

- 850, procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la seguridad del transporte de gas,
- 850.3, plan de operación y mantenimiento,
- 850.4, plan de emergencia,
- 850.5, investigación de fallas en gasoducto,
- 850.6, prevención de ignición accidental,

- 851, mantenimiento del gasoducto,
- 851.1, vigilancia periódica de los gasoductos,
- 851.2, patrullaje del gasoducto,

### **3.6 Análisis de datos**

Una vez concluida la etapa de colección de los datos en una base de datos en Excel, se realizó el procesamiento y análisis de los datos de los elementos de la muestra determinada.

Para el procesamiento de los datos, se utilizó la hoja de cálculo de Excel, que recopila y analiza los datos registrados.

Para el análisis de datos, se examinó los valores registrados, lo cual permitió inspeccionar, limpiar y transformar los datos en una tabla, sólo se consideraron aquellos valores que tiene una mínima desviación estándar.

Para el análisis y muestra de los resultados obtenidos se desarrollan conteos donde se identifican los aspectos relevantes de cada elemento, las notas representativas de cada variable y en particular de cada cuestión.

### **3.7 Consideraciones éticas**

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos, como honestidad porque se respetó la información recolectada sin ser modificada. Se asumió de manera responsable los datos recolectados y se mantuvo el respeto para explicar los resultados encontrados y los análisis realizados.

## IV. Resultados

### Contrastación de hipótesis general

Hipótesis general: La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

Lo sostenido por Osinergmin (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), que la fuga de gas natural deviene en contaminación ambiental; se procedió a demostrar en primera instancia, la existencia de fuga de gas natural por el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

De acuerdo a la Ley de Conservación de la masa (Lomonósov, 1745, Lavoisier, 1785, en Sal y Rosas, 2015), la cantidad de gas natural que ingresa al gasoducto, debe ser igual a la cantidad de gas natural que sale del gasoducto. Demostrar fuga de gas natural, conlleva a demostrar que la cantidad de gas natural que sale por la válvula final del gasoducto, es menor que, la cantidad de gas natural que ingresa por la válvula inicial del gasoducto.

### Plantear el problema

- Parámetro poblacional de interés: fuga de gas.
- Se asume que: si el volumen de gas natural que sale del gasoducto, difiere del volumen de gas natural que ha ingresado al gasoducto, por lo menos en un 90%, en un tiempo determinado, entonces, se habrá demostrado que existe fuga de gas natural, por tanto, se habrá demostrado la contaminación ambiental, por el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.
- **Hipótesis científica:** la fuga de gas natural tiene incidencia en la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### Planteamiento de la hipótesis

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** la fuga de gas natural **no** tiene incidencia en la contaminación ambiental al reducirse el volumen de gas natural en un 90%, en un tiempo determinado.

$$\mu < 90\% \text{ eficiencia de reducción de volumen de gas}$$

- **Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):** la fuga de gas natural si tiene incidencia en la contaminación ambiental al reducirse el volumen de gas natural en un 90%, en un tiempo determinado.

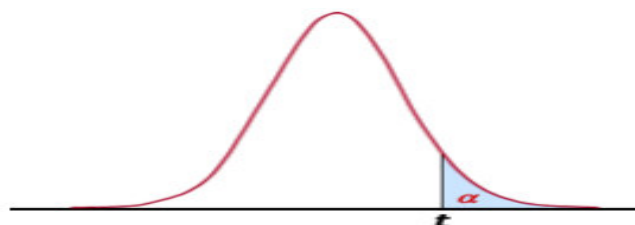
$$\mu \geq 90\% \text{ eficiencia de reducción del volumen de gas}$$

### Especificar los niveles de prueba

- Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$
- Estadígrafo: se asume que la contaminación ambiental, causada por la fuga de gas natural, sigue una distribución normal y se desconoce la desviación estándar.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

- Tamaño de la muestra: 12.
- Grados de libertad:  $12 - 1 = 11$ , entonces,  $n = 11$
- Regla de decisión:



De la distribución t de student:  $t_{(0,95;11)} = 1,796$

### Recolección de la información muestral

**Figura 9**

*Inspección de las lecturas de las válvulas extremas de la línea de transmisión del gas natural*



*Nota.* La figura muestra la ubicación alguna de las válvulas de la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. Adaptada y Cortesía la empresa transportadora de gas natural (2019)

La Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, registra los valores de, ingreso de gas natural al gasoducto, salida de gas natural del gasoducto y fuga de gas natural que sale por alguna parte de gasoducto, respectivamente.

**Tabla 7**

*Volumen de gas natural que ingresa al gasoducto*

<b>N°</b>	<b>Caudal <sup>(a)</sup> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tiempo <sup>(b)</sup> (s)</b>	<b>Entrada de gas natural <sup>(c)</sup> (m<sup>3</sup>)</b>
1	20.00	7.77	155.40
2	20.00	7.76	155.23
3	20.00	7.79	155.81
4	19.99	7.77	155.35
5	20.00	7.83	156.57
6	19.99	7.81	156.11
7	20.00	7.78	155.60

8	20.00	7.78	155.60
9	20.00	7.80	156.00
10	20.01	7.76	155.24
11	20.01	7.82	156.48
12	19.99	7.81	156.11

*Nota.* La tabla muestra la forma de calcular la cantidad ( $\text{m}^3$ ) de gas natural que ingresa al gasoducto. (a) Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) con que ingresa el gas natural al gasoducto, el cual atraviesa por la primera válvula del gasoducto. (b) Tiempo (s) en el cual un caudal de gas natural ingresa al gasoducto, el cual atraviesa por la primera válvula del gasoducto. (c) Volumen ( $\text{m}^3$ ) de gas natural que ingresa al gasoducto, el cual atraviesa por la primera válvula. Se calcula multiplicando la primera columna por la segunda columna:  $c = a * b$ . (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019).

La Tabla 7, muestra cómo se calcula la cantidad de gas natural que ingresa al gasoducto, el cual atraviesa por la primera válvula. Es un cálculo indirecto, se requiere saber la medida del caudal de gas natural que pasa por la válvula de entrada del gasoducto, y el tiempo que demora en pasar dicha cantidad de gas natural.

**Tabla 8**

*Volumen de gas natural que sale del gasoducto*

Nº	Caudal <sup>(a)</sup> ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Tiempo <sup>(b)</sup> (s)	Salida de gas natural <sup>(c)</sup> ( $\text{m}^3$ )
1	19.38	7.45	144.40
2	19.76	7.35	145.23
3	19.60	7.49	146.81
4	18.62	7.88	146.75
5	18.28	7.94	145.17
6	18.99	7.85	149.11
7	19.21	7.59	145.80
8	18.91	7.69	145.40
9	18.52	7.85	145.40
10	18.22	7.86	143.24
11	18.86	7.68	144.88
12	18.48	7.81	144.31

*Nota.* La tabla muestra la forma de calcular la cantidad ( $m^3$ ) de gas natural que sale del gasoducto. (a) Caudal ( $m^3/s$ ) con que sale el gas natural del gasoducto, el cual atraviesa por la última válvula del gasoducto. (b) Tiempo (s) en el cual un caudal de gas natural sale del gasoducto, el cual atraviesa por la última válvula del gasoducto. (c) Volumen ( $m^3$ ) de gas natural que sale del gasoducto, el cual atraviesa por la última válvula del gasoducto. Se calcula multiplicando la primera columna por la segunda columna:  $c = a * b$ . (Fuente: del Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 8, muestra cómo se calcula la cantidad de gas natural que sale del gasoducto, el cual atraviesa por la última válvula. Es un cálculo indirecto, se requiere saber la medida del caudal de gas natural que pasa por la válvula de salida del gasoducto, y el tiempo que demora en pasar dicha cantidad de gas natural.

**Tabla 9**

*Emisión de gas natural al medio ambiente*

Nº	Entrada de gas natural <sup>(a)</sup> inicial ( $m^3$ )	Salida de gas natural <sup>(b)</sup> ( $m^3$ )	Fuga de gas natural <sup>(c)</sup> ( $m^3$ )
1	155.40	144.40	11.00
2	155.23	145.23	10.00
3	155.81	146.81	9.00
4	155.35	146.75	8.60
5	156.57	145.17	11.40
6	156.11	149.11	7.00
7	155.60	145.80	9.80
8	155.60	145.40	10.20
9	156.00	145.40	10.60
10	155.24	143.24	12.00
11	156.48	144.88	11.60
12	156.11	144.31	11.80

*Nota.* La tabla muestra la forma de calcular la cantidad ( $m^3$ ) de gas natural que fuga del gasoducto. (a) Volumen ( $m^3$ ) de gas natural que ingresa al gasoducto, el cual atraviesa por la



primera válvula. (b) Volumen ( $m^3$ ) de gas natural que sale del gasoducto, el cual atraviesa por la última válvula. (c) Volumen ( $m^3$ ) de gas natural que sale del gasoducto, pero que no atraviesa por la última válvula. Este es la fuga de gas natural que sale por alguna parte del gasoducto y que tiene incidencia en la contaminación ambiental. Se calcula como la diferencia entre la primera columna y la segunda columna:  $c = a - b$ . (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 9, muestra que, la cantidad de gas natural que ingresa al gasoducto, no es igual a la cantidad de gas natural que sale del gasoducto; y cuya diferencia aritmética, evidencia que existe fuga de gas natural.

- Media ( $\bar{x}$ ): 155,79
- Desviación muestral (S): 0,46

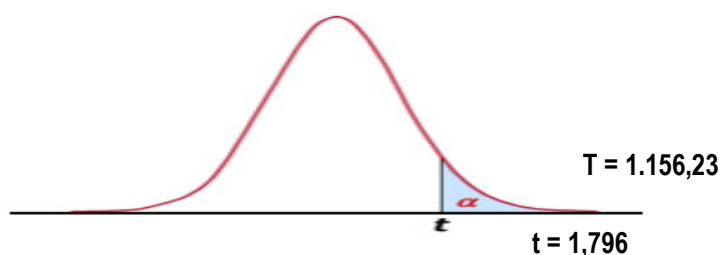
#### Cálculo del valor del estadígrafo de prueba muestral

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}} = \frac{155,79 - 0,90}{0,46/\sqrt{12}}$$

$$T = 1.156,23$$

	Variable 1	Variable 2
Media	155,79	10,25
Varianza	0,215352559	2,219090909
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0,137773933	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	336,5652146	
P(T<=t) una cola	1,00009E-23	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884819	
P(T<=t) dos colas	2,00019E-23	
Valor crítico de t (dos colas)	2,20098516	

### Decisión estadística



El valor observado de  $t$  muestral se localiza en la región de rechazo, por tanto, se rechaza  $H_0$ .

### Conclusión estadística

En la distribución, con nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ ; la muestra aporta evidencia, para concluir que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), en otras palabras, la fuga de gas natural si tiene incidencia en la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca, al reducirse el volumen de gas en un 90%, en un tiempo determinado.

### Contrastación de la hipótesis específica 1

- **Hipótesis científica:** La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- **Razonamiento:** basado en lo sostenido por Osinergmin (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), si se demuestra que el gasoducto presenta uniones defectuosas (deformaciones en las uniones soldadas y/o fisuras en las uniones soldadas y/o poros en las uniones soldadas), entonces, existe fuga gas natural en este punto, por tanto, existe contaminación ambiental, por el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

- **Se asume que:** basado en la Metodología I-MAN-322, conocida como la prueba de los postes, cuyo fundamento está en la Norma RPO 177-2000, la cual refiere que, un voltaje AC entre dos postes consecutivos, inferior a 15 Vac, significa que el ducto no ha sufrido daño en su estructura, por tanto, no existe fuga de gas. Si se verifica que la diferencia de potencial es superior a 15 Vac, entonces, se habrá demostrado que existe posible corrosión (riesgo de fuga de gas natural), por tanto, se habrá demostrado la contaminación ambiental, por el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.
- **Hipótesis nula ( $H_0$ )<sub>1</sub>:** la fuga de gas natural causada por las uniones defectuosas en el gasoducto, **si** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión de distrito de Chilca.
- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ )<sub>1</sub>:** la fuga de gas natural causada por las uniones defectuosas en el gasoducto, **no** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión de distrito de Chilca.

$$\mu \leq 15 \text{ V Límite máximo del voltaje}$$

- Recolección de datos experimentales:

**Figura 10***Prueba de los postes*

*Nota.* La figura muestra la revisión del ducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. (Fuente: Cortesía la empresa transportadora de gas natural (2019))

La Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14, registra los valores de, deformación en las uniones soldadas, fisuras en las uniones soldadas, fisuras en el gasoducto, poros en las uniones soldadas y poros en las paredes del gasoducto, respectivamente.

**Deformaciones en las uniones soldadas**

La Metodología de la Norma ASME B31 8-2003, establece el protocolo de construcción, diseño y monitoreo de tubería a presión.

Siguiendo el protocolo de la norma referida en el párrafo anterior, se procede a la prueba de los postes, para determinar el estado de conservación de las uniones soldadas. Si la diferencia de potencial es superior a 15 Vac, entonces, el gasoducto presenta deformaciones en las uniones soldadas, por la cual, se da la fuga de gas natural, lo que conlleva a la contaminación ambiental (Tabla 10).

**Tabla 10***Deformaciones en las uniones soldadas*

<b>Sección</b> (a)	<b>Diferencia de potencial</b> (b) (Vac)	<b>Deformación</b> (c)	<b>Fuga de gas</b> (d)
1	0.11	No presenta	No existe
2	0.12	No presenta	No existe
3	0.12	No presenta	No existe
4	0.12	No presenta	No existe
5	0.15	No presenta	No existe
6	0.14	No presenta	No existe
7	0.13	No presenta	No existe
8	0.11	No presenta	No existe
9	0.10	No presenta	No existe
10	0.13	No presenta	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de las observaciones de la diferencia de potencial medida en pos postes, si esta diferencia de potencial es superior a 15 V<sub>ac</sub>, entonces, es un indicador de la presencia de una deformación en la unión soldada; por la cual se da la fuga de gas natural.

(a) Sección del gasoducto, según la Figura 1 a la Figura 4. (b) Medición de la diferencia de potencial (Vac), según protocolo de la Metodología I-MAN-322, fundamentado en la Norma RPO 177-2000. (c) Deformación en la unión soldada, según el protocolo de la Norma ASME B31 8-2003. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por la deformación en la unión soldada. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 10, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por la deformación de las uniones soldadas.

### **Fisuras en las uniones soldadas**

La Metodología de la Norma ASME 2003, establece el protocolo de inspección de soldadura, mediante inspección no destructiva.

Lo preceptuado en la Norma API 1104, establece los estándares de aceptabilidad de las soldaduras.

Se realiza la inspección de fisuras en las uniones soldadas (Tabla 11).

**Tabla 11**

*Fisuras en las uniones soldadas*

Sección (a)	Diferencia de potencial <sup>(b)</sup> (Vac)	Fisura <sup>(c)</sup>	Fuga de gas <sup>(d)</sup>
1	0.15	No presenta	No existe
2	0.14	No presenta	No existe
3	0.13	No presenta	No existe
4	0.12	No presenta	No existe
5	0.11	No presenta	No existe
6	0.14	No presenta	No existe
7	0.13	No presenta	No existe
8	0.11	No presenta	No existe
9	0.13	No presenta	No existe
10	0.12	No presenta	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de las observaciones de la diferencia de potencial medida en pos postes, si esta diferencia de potencial es superior a  $15 V_{ac}$ , entonces, es un indicador de la presencia de fisuras en las uniones soldadas; por la cual se da la fuga de gas natural. (a) Sección del gasoducto, según la Figura 1 a la Figura 4. (b) Medición de la diferencia de potencial (Vac), según protocolo de la Metodología I-MAN-322, fundamentado en la Norma RPO 177-2000. (c) Fisura en la unión soldada, según el protocolo de la Norma ASME 2003 y la Norma API 1104. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por una fisura en la unión soldada. (Fuente: Registro de observación, Olaza, 2019)

La Tabla 11, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por una fisura en la unión soldada.

### **Fisuras en el gasoducto**

La Metodología de la Norma P-COO-025, establece el protocolo de prueba neumática en redes de acero.

La Metodología de la Norma P-COO-026, establece el protocolo de prueba neumática en redes de acero.

Se realiza la inspección de las fisuras en las paredes del gasoducto (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Fisuras en las paredes del gasoducto*

Sección (a)	Diferencia de potencial <sup>(b)</sup> (Vac)	Fisura <sup>(c)</sup>	Fuga de gas <sup>(d)</sup>
1	0.13	No presenta	No existe
2	0.12	No presenta	No existe
3	0.11	No presenta	No existe
4	0.14	No presenta	No existe
5	0.13	No presenta	No existe
6	0.13	No presenta	No existe
7	0.12	No presenta	No existe
8	0.11	No presenta	No existe
9	0.13	No presenta	No existe
10	0.15	No presenta	No existe

*Nota:* La tabla muestra el resultado de las observaciones de la diferencia de potencial medida en pos postes, si esta diferencia de potencial es superior a 15 Vac, entonces, es un indicador de la presencia de fisuras en las paredes del ducto; por la cual se da la fuga de gas natural. (a) Sección del gasoducto, según la Figura 1 a la 4. (b) Medición de la diferencia de potencial (Vac), según protocolo de la Metodología I-MAN-322, fundamentado en la Norma RPO 177-2000. (c) Fisura en la pared del gasoducto, según el protocolo de la Norma P-CO-025 y Norma P: COO-026. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por una fisura en la pared del gasoducto. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 12, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por una fisura en la pared del gasoducto.

### **Poros en las uniones soldadas**

La Metodología de la Norma ASME 2003, establece el protocolo de inspección de soldadura, mediante inspección no destructiva.

Lo preceptuado en a Norma API 1104, establece los estándares de aceptabilidad de las soldaduras.

Se realiza la inspección en las uniones soldadas, para verificar la presencia de poros (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Poros en las uniones soldadas*

Sección (a)	Diferencia de potencial <sup>(b)</sup> (Vac)	Poros <sup>(c)</sup>	Fuga de gas <sup>(d)</sup>
1	0.11	No presenta	No existe
2	0.13	No presenta	No existe
3	0.13	No presenta	No existe
4	0.15	No presenta	No existe
5	0.11	No presenta	No existe
6	0.11	No presenta	No existe
7	0.14	No presenta	No existe
8	0.11	No presenta	No existe
9	0.13	No presenta	No existe
10	0.11	No presenta	No existe

**Nota.** La tabla muestra el resultado de las observaciones de la diferencia de potencial medida en pos postes, si esta diferencia de potencial es superior a  $15 V_{ac}$ , entonces, es un indicador de la presencia de poros en las uniones soldadas en las paredes del ducto; por la cual se da la fuga de gas natural. (a) Sección del gasoducto, según la Figura 1 a la Figura 4. (b) Medición de la diferencia de potencial (Vac), según protocolo de la Metodología I-MAN-322, fundamentado en la Norma RPO 177-2000. (c) Poro en la unión soldada, según protocolo de la Norma ASME 2003 y la Norma API 1104. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por un poro en la unión soldada. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 13, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por un poro en una unión soldada.

### **Poros en las paredes del gasoducto**

La Metodología de la Norma P-COO-025, establece el protocolo de prueba neumática en redes de acero.



La Metodología de la Norma P-COO-026, establece el protocolo de prueba neumática en redes de acero.

Se realiza la inspección en las paredes del gasoducto, para verificar la presencia de poros (Tabla 14).

**Tabla 14**

*Poros en las paredes del gasoducto*

<b>Sección</b> (a)	<b>Diferencia de potencial</b> (b) (Vac)	<b>Poros</b> (c)	<b>Fuga de gas</b> (d)
1	0.11	No presenta	No existe
2	0.14	No presenta	No existe
3	0.13	No presenta	No existe
4	0.14	No presenta	No existe
5	0.13	No presenta	No existe
6	0.11	No presenta	No existe
7	0.13	No presenta	No existe
8	0.13	No presenta	No existe
9	0.11	No presenta	No existe
10	0.15	No presenta	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de las observaciones de la diferencia de potencial medida en pos postes, si esta diferencia de potencial es superior a  $15 V_{ac}$ , entonces, es un indicador de la presencia de poros en las paredes del ducto; por la cual se da la fuga de gas natural. (a) Sección del gasoducto, según la Figura 1 a la Figura 4. (b) Medición de la diferencia de potencial (Vac), según protocolo de la Metodología I-MAN-322, fundamentado en la Norma RPO 177-2000. (c) Poro en la pared del gasoducto, según el protocolo de la Norma P-CO-025 y Norma P-COO-026. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por un poro en la pared del gasoducto. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 14, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por un poro en la pared del gasoducto.

- Inferencia estadística:

Las Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14, muestran el buen estado de conservación del gasoducto.

- Conclusión estadística:

El buen estado de conservación del gasoducto, admite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ )<sub>1</sub>, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )<sub>1</sub>, en otras palabras, al no existir uniones defectuosas en el gasoducto, no existe fuga de gas natural por las paredes del gasoducto, en consecuencia, no tiene incidencia en la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### **Contrastación de la hipótesis específica 2**

- **Hipótesis científica:** La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- **Razonamiento:** basado en lo sostenido por Osinergmin (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), si se demuestra que las válvulas están defectuosas (defectos en los sellos de las válvulas, defectos en los asientos de las válvulas y/o defectos en los manómetros de las válvulas), entonces, existe fuga de gas natural por este punto, el cual incide en la contaminación ambiental en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- **Hipótesis nula ( $H_0$ )<sub>2</sub>:** la fuga de gas natural causada por las válvulas defectuosas en el gasoducto, **si** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión de distrito de Chilca.

- **Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>)<sub>2</sub>:** la fuga de gas natural causada por las válvulas defectuosas en el gasoducto, **no** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión de distrito de Chilca.

### Recolección de datos de la experimentación:

#### Figura 11

*Inspección de las lecturas de las válvulas*



*Nota.* La figura muestra la revisión de las válvulas del ducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. Fuente: Cortesía la empresa transportadora de gas natural (2019)

La Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, registra los defectos en los sellos de las válvulas, defecto en los asientos de las válvulas y defecto en los manómetros, en el gasoducto, respectivamente.

#### Defecto en los sellos de las válvulas

La Metodología de la Norma API 5D, basada en la Norma API 2002, establece el protocolo de tipos de válvulas y prueba de resistencia.

La Norma ISO 148 o ASTM 370, refiere la prueba de impacto.

Se realiza la inspección de las válvulas, para verificar el estado de conservación de los sellos (Tabla 15).

**Tabla 15**

*Defecto en los sellos de las válvulas*

N° (a)	Desgaste del sello (b)	Operatividad del sello (c)	Defecto en el sello (d)	Fuga de gas (e)
1	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
2	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
3	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
4	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
5	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
6	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
7	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
8	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
9	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
10	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
11	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
12	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
13	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
14	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
15	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
16	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
17	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
18	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
19	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
20	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
21	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
22	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
23	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
24	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
25	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
26	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
27	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
28	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
29	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
30	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
31	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
32	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe

33	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
34	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
35	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
36	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
37	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
38	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
39	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe
40	Lo normal	Operativo	No presenta	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación e inspección de los sellos de las 40 válvulas del gasoducto, con la finalidad de determinar el estado de conservación de cada una de ellas. De encontrar algún desperfecto en alguna de ellas, habría fuga de gas natural por el sello de la válvula. (a) Inspección de la válvula 1 la válvula 40. (b) Inspección de la válvula, según protocolo de la Norma API 5D. (c) Prueba de la válvula, según el protocolo de la Norma ISO 148 y ASTM 370. (d) Defecto en el sello de la válvula, según el resultado de las pruebas. (e) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por algún desperfecto en el sello de la válvula. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 15, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por algún desperfecto en el sello de la válvula.

### **Defecto en los asientos de las válvulas**

La Metodología de la Norma S-DIO-30, establece la revisión general de las válvulas y revisión general del cuerpo.

La Norma ISO 14313:1999, refiere las recomendaciones para el diseño, fabricación y pruebas de las válvulas.

Se realiza la inspección de las válvulas, para verificar el estado de conservación de los asientos (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Defectos en los asientos de las válvulas*

Nº (a)	Desgaste en asiento (b)	Operatividad del asiento (c)	Defecto en el asiento (d)	Fuga de gas (e)
--------	-------------------------	------------------------------	---------------------------	-----------------

---

1	No presenta	operativo	No presenta	No existe
2	No presenta	operativo	No presenta	No existe
3	No presenta	operativo	No presenta	No existe
4	No presenta	operativo	No presenta	No existe
5	No presenta	operativo	No presenta	No existe
6	No presenta	operativo	No presenta	No existe
7	No presenta	operativo	No presenta	No existe
8	No presenta	operativo	No presenta	No existe
9	No presenta	operativo	No presenta	No existe
10	No presenta	operativo	No presenta	No existe
11	No presenta	operativo	No presenta	No existe
12	No presenta	operativo	No presenta	No existe
13	No presenta	operativo	No presenta	No existe
14	No presenta	operativo	No presenta	No existe
15	No presenta	operativo	No presenta	No existe
16	No presenta	operativo	No presenta	No existe
17	No presenta	operativo	No presenta	No existe
18	No presenta	operativo	No presenta	No existe
19	No presenta	operativo	No presenta	No existe
20	No presenta	operativo	No presenta	No existe
21	No presenta	operativo	No presenta	No existe
22	No presenta	operativo	No presenta	No existe
23	No presenta	operativo	No presenta	No existe
24	No presenta	operativo	No presenta	No existe
25	No presenta	operativo	No presenta	No existe
26	No presenta	operativo	No presenta	No existe
27	No presenta	operativo	No presenta	No existe
28	No presenta	operativo	No presenta	No existe
29	No presenta	operativo	No presenta	No existe
30	No presenta	operativo	No presenta	No existe
31	No presenta	operativo	No presenta	No existe
32	No presenta	operativo	No presenta	No existe
33	No presenta	operativo	No presenta	No existe
34	No presenta	operativo	No presenta	No existe
35	No presenta	operativo	No presenta	No existe
36	No presenta	operativo	No presenta	No existe
37	No presenta	operativo	No presenta	No existe
38	No presenta	operativo	No presenta	No existe
39	No presenta	operativo	No presenta	No existe
40	No presenta	operativo	No presenta	No existe

---

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación e inspección de los asientos de las 40 válvulas del gasoducto, con la finalidad de determinar el estado de conservación de cada una de ellas. De encontrar algún desperfecto en alguna de ellas, habría fuga de gas natural por asiento de la válvula. (a) Inspección de la válvula 1 la válvula 40. (b) Inspección de la válvula, según protocolo de la Norma S-DIO-30. (c) Prueba de la válvula, según el protocolo de la Norma ISO 14313:1999. (d) Defecto en el asiento de la válvula, según el resultado de las pruebas. (e) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por algún desperfecto en el asiento de la válvula. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 16, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por algún desperfecto en el asiento de la válvula.

### **Defecto en los manómetros**

La Metodología de la Norma S-DIO-024, establece las especificaciones técnicas de los manómetros.

Se realiza la inspección de los manómetros, para verificar el estado de los mismos (Tabla 17).

**Tabla 17**

*Defectos en los manómetros*

<b>N° (a)</b>	<b>Desgaste en vástago (b)</b>	<b>Operatividad del regulador (c)</b>	<b>Defecto en el manómetro (d)</b>	<b>Fuga de gas (e)</b>
1	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
2	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
3	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
4	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
5	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
6	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
7	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
8	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
9	Lo normal	operativo	No presenta	No existe

10	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
11	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
12	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
13	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
14	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
15	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
16	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
17	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
18	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
19	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
20	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
21	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
22	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
23	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
24	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
25	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
26	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
27	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
28	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
29	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
30	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
31	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
32	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
33	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
34	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
35	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
36	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
37	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
38	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
39	Lo normal	operativo	No presenta	No existe
40	Lo normal	operativo	No presenta	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación e inspección de los manómetros de las 40 válvulas del gasoducto, con la finalidad de determinar el estado de conservación de cada una de ellas. De encontrar algún desperfecto en alguno de ellos, habría fuga de gas natural por el manómetro. (a) Inspección del manómetro de cada válvula 1 la válvula 40. (b) Inspección del vástago de manómetro, según protocolo de la Norma S-DIO-024. (c) Inspección del



regulador del manómetro, según el protocolo de la Norma D-DIO-024. (d) Defecto en el manómetro, según el resultado de las pruebas. (e) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por algún desperfecto en un manómetro. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 17, muestra cómo se determina, si existe fuga de gas natural, causada por algún desperfecto en el manómetro de la válvula.

- Inferencia estadística:

La Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, muestran el buen estado de conservación de las válvulas y los manómetros.

- Conclusión estadística:

El buen estado de conservación de las válvulas y manómetros, admite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), en otras palabras, al no existir válvulas defectuosas, ni existir manómetros defectuosos, entonces, no existe fuga de gas natural a través de ellos, en consecuencia, no tiene incidencia en la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### **Contrastación de la hipótesis específica 3**

- **Hipótesis científica:** La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- **Razonamiento:** basado en lo sostenido por Osinergmin (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), si se demuestra negligentes actividades antropogénicas (manipulación indebida en las válvulas, manipulación indebida en los

manómetros de las válvulas, y/o manipulación indebida en los postes), entonces, existe fuga de gas natural por esta acción en un punto determinado, por tanto, existe contaminación ambiental, por el gasoducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** la fuga de gas natural causada por actividades antropogénicas en el gasoducto, **no** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** la fuga de gas natural causada por actividades antropogénicas en el gasoducto, **si** producen contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
- Recolección de datos de la experimentación:

**Figura 12**

*Inspección de las actividades antropogénicas*



*Nota.* La figura muestra la revisión del ducto en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. Fuente: Cortesía la empresa transportadora de gas natural (2019)

La Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20, registra la manipulación indebida de las válvulas, manipulación indebida de los manómetros, manipulación indebida en los postes, en el gasoducto, respectivamente.

**Manipulación indebida de las válvulas**

La Metodología de la Norma ASME B31 8-2003, establece los procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la seguridad del transporte de gas y las instalaciones de distribución.

Se realiza la paciente observación de cómo los ingenieros y personal de mantenimiento, manipulan las válvulas (Tabla 18).

**Tabla 18***Manipulación indebida de las válvulas*

Nº (a)	Manipulación (b)	Observación (c)	Fuga de gas (d)
1	Correcta	Ninguna	No existe
2	Correcta	Ninguna	No existe
3	correcta	Ninguna	No existe
4	correcta	Ninguna	No existe
5	correcta	Ninguna	No existe
6	<b>incorrecta</b>	<b>Fuga deliberada de gas</b>	<b>Existe</b>
7	correcta	Ninguna	No existe
8	correcta	Ninguna	No existe
9	correcta	Ninguna	No existe
10	correcta	Ninguna	No existe
11	correcta	Ninguna	No existe
12	correcta	Ninguna	No existe
13	correcta	ninguna	No existe
14	correcta	ninguna	No existe
15	correcta	ninguna	No existe
16	correcta	ninguna	No existe
17	correcta	ninguna	No existe
18	correcta	ninguna	No existe
19	correcta	ninguna	No existe
20	correcta	ninguna	No existe
21	correcta	ninguna	No existe
22	correcta	ninguna	No existe
23	correcta	ninguna	No existe
24	correcta	ninguna	No existe
25	correcta	ninguna	No existe
26	correcta	ninguna	No existe
27	correcta	ninguna	No existe
28	correcta	ninguna	No existe
29	correcta	ninguna	No existe
30	correcta	ninguna	No existe
31	correcta	ninguna	No existe
32	correcta	ninguna	No existe
33	correcta	ninguna	No existe
34	correcta	ninguna	No existe
35	correcta	ninguna	No existe
36	correcta	ninguna	No existe

37	correcta	ninguna	No existe
38	correcta	ninguna	No existe
39	correcta	ninguna	No existe
40	correcta	ninguna	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación del accionar de los ingenieros y personal de mantenimiento, respecto de las válvulas, con la finalidad de determinar la correcta manipulación de las mismas. De observar una indebida operación, habría fuga de gas natural por la válvula. (a) Número de válvula 1 la válvula 40. (b) Inspección visual al operario en la manipulación de la válvula, según protocolo de la Norma ASME B31 8-2003. (c) Observación, manipulación de operario, según el protocolo de la ASME B31 8-2003. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por la manipulación indebida de una válvula. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 18, muestra los resultados del seguimiento y monitoreo de la inspección de la correcta/incorrecta manipulación de las válvulas (actividad antropogénica), para determinar si existe fuga de gas natural, que incida en la contaminación ambiental.

### **Manipulación indebida de los manómetros**

La Metodología de la Norma ASME B31 8-2003, establece los procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la seguridad del transporte de gas y las instalaciones de distribución.

Se realiza la paciente observación de cómo los ingenieros y personal de mantenimiento, manipulan los manómetros (Tabla 19).

**Tabla 19***Manipulación indebida de los manómetros*

<b>N° (a)</b>	<b>Manipulación (b)</b>	<b>Observación (c)</b>	<b>Fuga de gas (d)</b>
1	correcta	ninguna	No existe
2	correcta	ninguna	No existe
3	correcta	ninguna	No existe
4	correcta	ninguna	No existe
5	correcta	ninguna	No existe
6	correcta	ninguna	No existe
7	correcta	ninguna	No existe
8	correcta	ninguna	No existe
9	correcta	ninguna	No existe
10	correcta	ninguna	No existe
11	correcta	ninguna	No existe
12	correcta	ninguna	No existe
13	correcta	ninguna	No existe
14	correcta	ninguna	No existe
15	correcta	ninguna	No existe
16	correcta	ninguna	No existe
17	correcta	ninguna	No existe
18	correcta	ninguna	No existe
19	correcta	ninguna	No existe
20	correcta	ninguna	No existe
21	correcta	ninguna	No existe
22	correcta	ninguna	No existe
23	correcta	ninguna	No existe
24	correcta	ninguna	No existe
25	correcta	ninguna	No existe
26	correcta	ninguna	No existe
27	correcta	ninguna	No existe
28	correcta	ninguna	No existe
29	correcta	ninguna	No existe
30	correcta	ninguna	No existe
31	correcta	ninguna	No existe
32	correcta	ninguna	No existe
33	correcta	ninguna	No existe
34	correcta	ninguna	No existe
35	correcta	ninguna	No existe
36	correcta	ninguna	No existe

37	correcta	ninguna	No existe
38	correcta	ninguna	No existe
39	correcta	ninguna	No existe
40	correcta	ninguna	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación del accionar de los ingenieros y personal de mantenimiento, respecto de los manómetros, con la finalidad de determinar la correcta manipulación de los mismos. De observar una indebida operación, habría fuga de gas natural por el manómetro. (a) Número de manómetro de cada válvula 1 la válvula 40. (b) Inspección visual al operario en la manipulación del manómetro, según protocolo de la Norma ASME B31 8-2003. (c) Observación, manipulación de operario, según el protocolo de la ASME B31 8-2003. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por la manipulación indebida en un manómetro. (Fuente: Registro de la observación, Olaza, 2019)

La Tabla 19, muestra los resultados del seguimiento y monitoreo de la inspección de la correcta/incorrecta manipulación de los manómetros (actividad antropogénica), para determinar si existe fuga de gas natural, que incida en la contaminación ambiental.

#### **Manipulación indebida en los postes**

La Metodología de la Norma ASME B31 8-2003, establece los procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la seguridad del transporte de gas y las instalaciones de distribución.

Se realiza la paciente observación de cómo los ingenieros y personal de mantenimiento, manipulan los postes (Tabla 20).

**Tabla 20***Manipulación indebida de los postes*

<b>N° (a)</b>	<b>Manipulación (b)</b>	<b>Observación (c)</b>	<b>Fuga de gas (d)</b>
1	correcta	ninguna	No existe
2	correcta	ninguna	No existe
3	correcta	ninguna	No existe
4	correcta	ninguna	No existe
5	correcta	ninguna	No existe
6	correcta	ninguna	No existe
7	correcta	ninguna	No existe
8	correcta	ninguna	No existe
9	correcta	ninguna	No existe

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la observación del accionar de los ingenieros y personal de mantenimiento, respecto de los postes, con la finalidad de determinar la correcta manipulación de los mismos. De observar una indebida operación, habría fuga de gas natural por el poste. (a) Número de poste, según la Figura 1 a la Figura 4. (b) Inspección visual al operario en la manipulación del poste, según protocolo de la Norma ASME B31 8-2003. (c) Observación, manipulación de operario, según el protocolo de la ASME B31 8-2003. (d) Existencia, o no existencia de fuga de gas natural, originada por la manipulación indebida del poste. Fuente: Registro de observación basado en la metodología propuesta, Olaza (2019)

La Tabla 20, muestra los resultados del seguimiento y monitoreo de la inspección de la correcta/incorrecta manipulación del poste (actividad antropogénica), para determinar si existe fuga de gas natural, que incida en la contaminación ambiental.

- Inferencia estadística:

La Tabla 19 y Tabla 20, muestran la correcta manipulación de los manómetros de las válvulas y la correcta manipulación de los postes, ubicados en la línea de transmisión de gas natural.



La Tabla 18, muestra la incorrecta manipulación de la válvula 6, ubicada en la línea de transmisión de gas natural.

- Conclusión estadística:

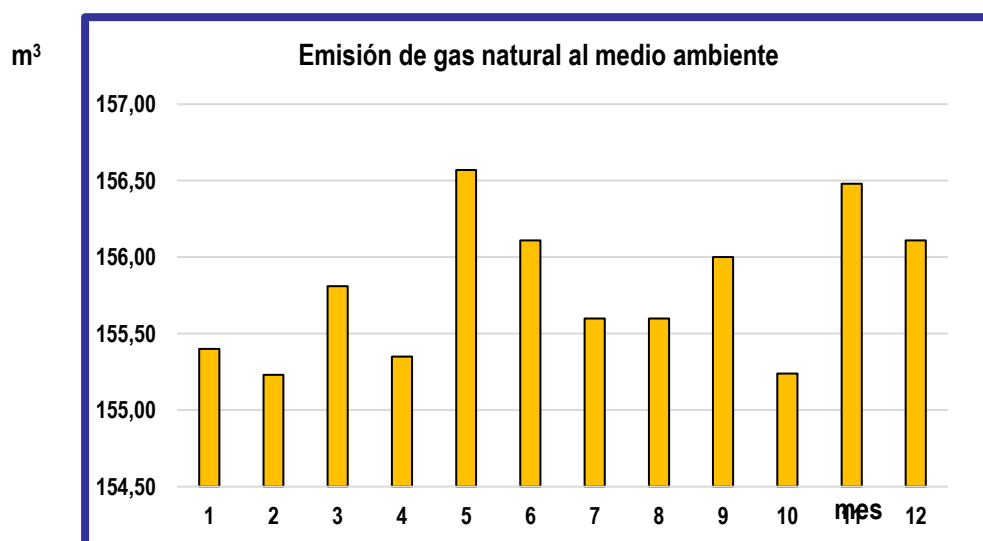
La incorrecta manipulación de una de las válvulas, como resultado de actividades antropogénicas, admite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), en otras palabras, al existir una incorrecta manipulación de una de las válvulas, si existe fuga de gas natural, en consecuencia, tiene incidencia en la contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

### Análisis e interpretación

#### Fuga de gas en la línea de transmisión del gas natural

**Figura 13**

*Emisión de gas natural al medio ambiente*



*Nota.* La figura muestra fuga de gas natural ( $m^3$ ) y en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca. (Fuente: Procesamiento de datos recolectados, Olaza, 2019)

La Figura 13, muestra la emisión mensual de gas natural hacia el medio ambiente, procedente de la línea de transmisión de gas natural, esta *fuga de gas natural*, incide directamente en la contaminación ambiental, al ser el metano ( $CH_4$ ), el componente principal

del gas natural. Es necesario recordar que, el CH<sub>4</sub> es 23 veces más nocivo que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ambos Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El propósito fundamental de esta investigación fue, demostrar que existe fuga de gas natural y que esta, tiene efecto ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca, y como consecuencia de esta fuga de gas, se produce la contaminación ambiental en la zona de influencia.

#### **Uniones defectuosas en el gasoducto**

La investigación en esta parte de la experiencia, muestran que, no existen deformaciones en las uniones soldadas, ni fisuras en las uniones soldadas, ni fisuras en las paredes del gasoducto, ni poros en las uniones soldadas, ni poros en las paredes del gasoducto.

Los resultados, en esta parte de la experiencia, al encontrarse el gasoducto en óptimas condiciones de funcionamiento, permiten concluir que no existe fuga de gas natural por este medio.

#### **Válvulas defectuosas en el gasoducto**

La investigación en esta parte de la experiencia, muestran que, no existen defectos en los sellos de las válvulas, ni defectos en los asientos de las válvulas, ni defectos en los manómetros de las válvulas.

Los resultados, en esta parte de la experiencia, al encontrarse las válvulas y los manómetros en buen estado de conservación, permite concluir que no existe fuga de gas natural por estos medios.

#### **Actividades antropogénicas en el gasoducto**

La investigación en esta parte de la experiencia, muestran que, si existe manipulación indebida de las válvulas, también se demuestra, que no existe manipulación indebida en los manómetros de las válvulas.

Los resultados, en esta parte de la experiencia, demuestran que los operarios encargados del mantenimiento del buen funcionamiento del gasoducto, así como las pruebas regulares que efectúan, *abren* la llave de la válvula 6, con la finalidad de expulsar en forma deliberada, el contenido de gas natural contenido en ese tramo, esta operación la realizan con el objetivo de *eliminar* todo riesgo de explosión, para iniciar operaciones de control y mantenimiento.

Estas operaciones de control y mantenimiento a cargo de los operarios, la realizan una vez por mes, lo cual quiere decir, que, en forma mensual, emiten 155.81 m<sup>3</sup> de gas natural a la atmósfera, originando la contaminación ambiental en dicha zona de trabajo.

## V. Discusión de resultados

Coincidiendo con López (2020), el gas natural, es conocido desde hace miles de años, y en una industria moderna, se debe de aprovechar como recurso, esto no implica que sea desmesurado ni descontrolado. El gas natural que transporta el gasoducto se emplea como un insumo energético, empleado para consumo industrial y domiciliario.

Sobre lo referido por el BM (2001), referente a que los gaseoductos costa afuera, causan diferentes impactos ambientales, estos deben de ser controlados o de alguna forma mitigados, teniendo en consideración las variables de diseño del ducto que transporta el gas natural, tales como, tamaño de la tubería, diámetro, espesor, densidad del material, etc. Parte del gasoducto es costa afuera, y siguen los protocolos respectivos de las normas de diseño, funcionamiento y monitoreo respectivo.

En concordancia con WEC (2020) y CREA (2020), en algún punto, las reservas de petróleo serán agotadas, en consecuencia, deberíamos preocuparnos por otras fuentes energéticas; en los últimos años, se está empleando gas natural, en reemplazo del petróleo, pero, la gran pregunta sería: ¿qué tan contaminante es su uso?, igual, menor o mayor que el uso del petróleo. El fin del gasoducto es emplear una nueva fuente de energía, el gas natural, con la finalidad de ya no emplear combustible fósil, recurso que se está agotando poco a poco.

Con relación a lo sostenido por Heede (2019), las grandes y medianas empresas, consumidoras de combustibles fósiles, son las que más contaminan en medio ambiente; el desarrollo industrial no debería significar el daño ecológico, muy por el contrario, debería ser una producción industrial de manera sostenible, desde el punto de vista ambiental. El empleo de gas natural, también contribuye al desarrollo industrial, solo que, es un combustible más limpio.

Coincidiendo con Yi-huah (2014), lo sucedido en Taiwán, si no se toman las medidas de seguridad que el caso requiere, los resultados del transporte de gas (por la troncal), podrían

ser fatales, no solo por la destrucción de los bienes, sino por, la pérdida de vidas humanas, y la contaminación ambiental y las externalidades negativas que se producen en el ecosistema. Las explosiones en Taiwán, dejaron una triste estadística de 20 muertos y 270 heridos. A la fecha, el gasoducto no ha presentado problemas de explosión ni deflagración, es por ello el interés principal de la presente investigación, el de prevenir algún fatal accidente.

Sobre lo referido por García (2015), lo sucedido en Cañete, Perú, la primera información, sugiere que el siniestro se inició por la fuga de la tubería de gas natural, lo interesante habría sido, saber cuál habría sido el problema real que sucedió en la tubería, porque pudo ser por causa de deformaciones en las tuberías, fisuras en el gasoducto, o porosidad en las uniones soldadas. Independientemente de la causa del siniestro, esto se habría detectado en el mantenimiento preventivo del gasoducto. La presente investigación, tiene un carácter preventivo, el de la no ocurrencia de un siniestro, causado por la fuga de gas natural. Prevenir un incendio que comprometa vidas humanas y el medio ambiente es la motivación del tesista.

Con relación a lo sostenido por Fernández (2015), lo sucedido en San Isidro, Lima, evidencia una falta de coordinación de una empresa de servicios públicos (agua, electricidad, telecomunicaciones, otros), y con la concesionaria de gas natural. Por aquellos años, según OSINERGMIN, refería que ya iban 92 casos de fuga de gas natural, no se debe esperar que este gasoducto aumente la estadística. Una revisión de acuerdo a los protocolos de diseño, seguridad y mantenimiento para gasoductos, evitaría accidentes que lamentar; existen un amplio acervo de ellos, lo que estaría faltando es un estricto cumplimiento de los mismos, en el gasoducto en estudio.

Referente a lo sostenido por AN (2017), lo sucedido en Soledad, México, en muchos casos, actividades antropogénicas, exógenas al sistema de transporte de gas natural, son las responsables de la fuga de gas natural, la tragedia pudo ser peor, debido a los alumnos del cercano colegio. El incidente de México, obligó a evacuar 420 alumnos y 30 familias de la

zona. No se debe esperar un incidente similar para recién actuar. Luego de concluida la investigación al gasoducto en estudio, se concluye que actividades antropogénicas son las causantes de la fuga del gas natural, esto debería replantear los protocolos de seguimiento y monitoreo.

Con relación a los sostenido Castellanos (2017), lo sucedido en Tamaulipas, México, un mal cálculo en una actividad exógena a la línea de transmisión de gas natural, causó el accidente, no se registraron accidentes personales, pero, es evidente que hubo un daño ecológico. Una mala manipulación al gasoducto de gas natural, puede conllevar a lamentables accidentes, es por ello que, estudiaron las causas de fuga de gas natural del gasoducto. El incidente de México, registró una fuga de un millón de pies cúbicos, lo que equivale a  $28.316,85 \text{ m}^3$ , la presente investigación concluye que existe fuga de gas natural, de  $155,81 \text{ m}^3$  mensuales. El tema no es un análisis proporcional, sino que, uno o mil metros cúbicos, contaminan el medio ambiente.

Recientemente, el gas natural ha cobrado una notoria importancia en el sector energético mundial debido al descubrimiento de masivas reservas no convencionales de gas, y el Perú, no ha sido ajeno a esta tendencia global, a principios de la década de los ochenta, se descubrió uno de los yacimientos con mayor potencial gasífero en la zona sudamericana, el campo de Camisea (en la Selva sur de la región Cusco).

El gas natural, ha sustituido al petróleo (una fuente fósil cara y muy volátil en su cotización internacional) y a la fuerza hidráulica, que está sujeta a las variaciones climáticas del país.

El gas natural, es una importante fuente de energía fósil liberada por su combustión, y de manera que es una fuente fósil, es una energía no renovable, que, en algún punto, se tendrá que agotar, salvo, pasen millones de millones de años después de un cataclismo y que todo quede bajo tierra por ese lapso de tiempo.

El gas natural, tiene muchas aplicaciones, tanto en la industria como en el hogar, y una de las razones, es porque, es más seguro y barato. Para la industria, se emplea en centrales eléctricas de alto rendimiento, centrales de cogeneración, gas natural vehicular, como pila de combustible, etc. para el hogar, se emplea, como calefacción, para calentar el agua sanitaria, termas, cocinas, hornos, etc. Se emplea en los hoteles, restaurantes, hospitales, lavanderías, panaderías, etc.

El gas natural, es un fluido (ocupa el lugar que el sistema la delimita, además, puede ser comprimido, lo cual hace que aumente su energía cinética), y su comportamiento se describe como un gas ideal, en consecuencia, las propiedades del gas natural, pueden ser estudiadas como un gas ideal, esta *idealización*, permite predecir que, al aumentar su energía cinética, lo hace más peligroso, y que el sólo hecho de *una chispa*, en otras palabras, el punto de ignición (punto de inflamación o punto de incendio del gas), comenzará a arder, y, de estar comprimido el gas, se producirá una inevitable explosión.

Fugas, explosiones, riesgos de explosiones, de gas natural, no están ajenos al almacenamiento y transporte del mismo, siendo algunos de los muchos casos, referenciados como antecedentes en la presente investigación, presentados en diversos países de mundo, y mucho de ellos, más adelantados (científica y tecnológicamente hablando) que el Perú, y mucho de ellos, con protocolos de control, seguimiento y monitoreo, más rígidos que el Perú, esto quiere decir, que el Perú, no está exento de peligro alguno al manipular, transportar y/o emplear gas natural.

El gas natural, es un combustible fósil, que está reemplazando al petróleo, otro combustible fósil; el gas natural produce menor impacto medioambiental de todos los utilizados, pero esto no quiere decir, que no contamina el ambiente, esto no es del todo cierto, recordemos que, el principal componente del gas natural es el gas metano ( $\text{CH}_4$ ), en una concentración de 79% - 97%, y siendo este gas metano, equivalente a 23 veces el efecto

invernadero que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), estos dos últimos, considerados como Gases de Efecto Invernadero (GEI).

La fuga de gas natural, es causa inexorable de contaminación ambiental, poniendo en peligro el ecosistema en la zona de influencia del almacenamiento o transporte del gas, y, sobre todo, exponiendo la salud de las personas que la manipulan, directa o indirectamente.

Para que el gas natural, sea empleado en la ciudad de Lima, primero debe de llegar y pasar por el distrito de Chilca, en este distrito, el gas natural se desplaza por la línea de transmisión de gas natural, la cual tiene una longitud de 3,315 km, en ese recorrido, cuenta con 9 postes de control, 40 válvulas de control, con igual número de manómetros. Las operaciones de control y mantenimiento están a cargo de 4 cuadrillas, que se dividen en cuatro tramos para la supervisión respectiva.

La hipótesis planteada de la presente investigación, consideró que *¿en qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca?*, era inminente que, demostrando la existencia de fuga de gas natural, como corolario, se demostraba la contaminación ambiental.

La demostración de la existencia de contaminación ambiental, en la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca, ha sido una *demonstración cualitativa*, de carácter disyuntivo (si existe o no existe), puesto que su demostración estuvo asociada a la demostración de la fuga de gas natural; la *demonstración cuantitativa*, se invoca como primera recomendación en la presente investigación.

La demostración de la existencia de fuga de gas natural, en la línea de transmisión del distrito de Chilca, se basó en una metodología, que, a su vez, demandaba el cumplimiento de una serie de metodologías, indicadas en el capítulo respectivo, tal pareciera que, emplear una serie de metodologías, es no tener claro, que es lo que se quiere demostrar, y sobre todo, el cómo demostrarlo, pero no es así, muy por el contrario, como el gas natural, es un compuesto



bastante estudiado y bastante peligroso en su almacenamiento y transporte, tiene una metodología específica para cada caso de análisis, dicho sea de paso, muchas de las metodologías empleadas, son normas internacionales, aplicables en todos los países que emplean este gas.

La sospecha del tesista, de que existe fuga de gas natural, en el gasoducto que transporta el gas, fue fundada y, finalmente demostrada:

- En primer lugar, se demostró fuga de gas natural en la línea de transmisión del distrito de Chilca, una vez eso, había que determinar el punto o los puntos de fuga de gas en todo el trayecto del transporte del gas. En esta parte de la investigación, se debió recurrir a la teoría cinética de los gases ideales, y sus respectivas fórmulas.
- En segundo lugar, se demostró el buen estado del gasoducto, es decir, no había deformaciones en las uniones soldadas, no había fisuras en las uniones soldadas, ni había la presencia de poros en las uniones soldadas, como corolario de esta demostración, se demostró la ausencia de fuga de gas natural por este medio. En esta parte de la investigación, se requirió ceñirse, principalmente, al protocolo de la prueba de postes.
- En tercer lugar, se demostró el buen estado las válvulas y de los manómetros, es decir, no había defectos en los sellos de las válvulas, no había defectos en los asientos de las válvulas, no había defectos en los manómetros de las válvulas, como corolario de esta demostración, se demostró la ausencia de fuga de gas natural por este medio. En esta parte de la investigación, se emplearon los protocolos respectivos.
- En cuarto lugar, se demostró la correcta manipulación de los manómetros y la correcta manipulación de los postes, es decir, no había fuga de gas natural por

estos medios. En esta parte de la investigación, se empelaron los protocolos respectivos.

- En quinto lugar, se demostró la incorrecta manipulación de una de las válvulas, una manipulación indebida, no preceptuada en ningún protocolo internacional, ni nacional, en forma deliberada, la válvula 6 se manipulaba con el objetivo de expulsar gas natural contenido en ese tramo, con la finalidad de que este quede vacío, eliminando así todo riesgo de explosión, para luego iniciar las operaciones de control y mantenimiento. Esta mala praxis, era en forma constante y permanente, realizada una vez al mes.

Por malas prácticas del personal encargado del mantenimiento del gasoducto, hacen que se emitan más de 150 m<sup>3</sup> mensuales de gas natural al medio ambiente, y en concordancia con OSINERGMIN (2017), Benavides y León (2017), Ortúzar y Tornel (2016), Vásquez (2015), Del Toro (2018) y Rodríguez et al. (2018), Incide significativamente en la contaminación ambiental, del medio ambiente y el ecosistema que circunda en la zona de influencia de la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.

La pregunta final que quedará por responder será: ¿quién es el responsable de este delito ambiental?, el operario, el supervisor de turno, la empresa encargada del transporte de gas natural, o la irresponsabilidad, que lo convierte en cómplice, del Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería (OSINERGMIN), en dónde están los inspectores de esta entidad; la omisión de funciones de un servidor público es un delito, conocido como, *delito de omisión*.

## VI. Conclusiones

1. Existe fuga de gas natural por la manipulación indebida de la válvula N° 8 y se emiten 155.81 m<sup>3</sup> mensuales de gas natural, al medio ambiente, convirtiéndose principalmente en CO<sub>2</sub>, un GEI que contamina el medio ambiente y el ecosistema en la zona de influencia de la línea de transmisión de gas del distrito de Chilca.
2. No existe fuga de gas natural por el casco del gasoducto, es decir, no existe deformaciones en las uniones soldadas, ni fisuras en las uniones soldadas, ni fisuras en el gasoducto, ni poros en las uniones soldadas, ni poros en las paredes del gasoducto; por tanto, no existe contaminación ambiental por este medio, en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
3. No existe fuga de gas natural por ninguna de las 40 válvulas que tiene el gasoducto, ninguna de las válvulas está defectuosa, es decir, no existe defectos en los sellos de las válvulas, ni defectos en los asientos de las válvulas, ni defectos en los manómetros de las válvulas, por tanto, no existe contaminación ambiental por este medio, en la línea de transmisión del distrito de Chilca.
4. No existe fuga de gas natural por una manipulación indebida de alguno de los 40 manómetros, ni por una manipulación indebida de alguno de los 9 postes, por tanto, no existe contaminación ambiental por este medio, en la línea de transmisión del distrito de Chilca.

## **VII. Recomendaciones**

1. Evaluar los daños al medio ambiente y ecosistema, producidos por la emisión de 155.81 m<sup>3</sup> mensuales de gas natural, en la zona de influencia de la línea de transmisión de gas natural en el distrito de Chilca.
2. Determinar la toxicidad del gas natural en el ser humano, indicando las vías de ingreso al ser humano y el tiempo de exposición en el ambiente circundante.
3. Instalar un Programmable Logic Controller (PLC), más conocido como un controlador lógico programable, con la finalidad de automatizar el control del gasoducto y la línea de montaje, básicamente, para las uniones soldadas, las válvulas, los manómetros y los postes de control.
4. Modificar el protocolo de manipulación operación y mantenimiento del personal operario, con la finalidad de indicar estrictamente, la prohibición, bajo pena de sanción administrativa, de no manipular incorrectamente las válvulas, so pretexto de vaciar y eliminar de gas natural el tramo de gasoducto, para operaciones de control y mantenimiento.

### VIII. Referencias

- Agence France-Presse, [AFP], (12 de julio de 2007). El EPR reivindica los atentados contra gasoductos de Pemex en México. [https://elpais.com/diario/2007/07/13/internacional/1184277609\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2007/07/13/internacional/1184277609_850215.html)
- Agencia de Noticias San Luis Potosí (16 de mayo de 2017). *Se atiende fuga de gas natural en colonia San Felipe*. <http://agenciadenoticiasslp.com/2017/05/16/se-atiene-fuga-de-gas-natural-en-colonia-san-felipe/>
- American Petroleum Institute [API] (23 de junio de 2002). *API 6D:2002 Pipeline valves [Válvulas de tubería]*. <http://www.api.org/>
- American Society of Mechanical Engineers [ASME] (12 de enero de 2003). *ASME B31. Gas transmission and distribution piping systems. ASME Code pressure piping, B31 an American National Standard* [Sistemas de tubería para transporte y distribución de gas. Código de ASME para tubería a presión, B.31 un estándar nacional estadounidense]. <https://www.asme.org/>
- Avilés G., (2017). *Gas natural en la generación de energía en el sector transporte colectivo de personas en México: impactos socioeconómicos y ambientales* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/tesis/te3676.pdf>
- American Welding Society [AWS] (8 de junio de 2020). *Soldadura*. <https://www.aws.org/>
- Benavides B. y León A. (2017). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.
- Cálidda (2020). *El gas natural*. <https://www.calidda.com.pe/gas-natural/Paginas/Mas-economico-%E2%80%8B%E2%80%8Bpara-tubosillo%E2%80%8B%E2%80%8B>  
B.aspx

- Cálidda (2013). *S-DIO-030. Especificaciones técnicas de válvulas tipo bola para instalación de Hot Tap - Línea - Servicio - ERPs*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2014). *I-MAN-322. Procedimiento de prueba de medición de potenciales*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2016). *P-COO-015. Procedimiento de planificación y uso de END en redes de acero*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2016). *P-COO-025. Procedimiento de prueba neumática en redes de acero*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2016). *S-DIO-024. Estaciones de filtrado, regulación y medición de gas natural - ERP*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2017). *P-COO-016. Procedimiento de prueba resistencia y hermeticidad de redes de acero*. Editado por Cálidda.
- Cálidda (2008). *P-T-50220. Odorización*. Editado por Cálidda.
- Cárdenas F., J. (2015). *Lecturas para ingeniería N° 23. Superaleaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castellanos, D. (19 de marzo de 2017). *Desalojan plataforma por fuga de gas natural*. Diario la Jornada. <http://www.jornada.unam.mx/2017/03/19/estados/028n6est>.
- Centre for Research on Energy and Clean Air, (12 de abril de 2020). *Aire Tóxico: El Precio de los Combustibles Fósiles. Claves del informe*. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2020/02/GP-Toxic-Air-Briefing-Spain.pdf>
- Centro de Información de las Naciones Unidas [CINU] (25 de mayo de 2016). *Medio ambiente*. [http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu\\_n5.htm](http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm)
- Cornejo, P. (2015). Aplicaciones del metano. *Con-Ciencia Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 3*, 2(4). <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/view/1703>

- Del Toro G., M. R. (2018). *El metano y sus efectos en el calentamiento global*. Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable.
- Delvasto J., G. A. (2017). *Modelo para la gestión de proyectos de gasoductos de transporte de gas natural en Colombia*. [Tesis de doctorado, Universidad Escuela de Administración de Negocios]. Repositorio de la Universidad EAN. <http://hdl.handle.net/10882/9036>
- Díaz P., O. (2018). Simulación de áreas de alta consecuencia para gasoductos. *Revista Científica*, 1(31), 32-44. [https://www.researchgate.net/publication/323763375\\_Simulacion\\_de\\_areas\\_de\\_alta\\_consecuencia\\_para\\_gasproductos](https://www.researchgate.net/publication/323763375_Simulacion_de_areas_de_alta_consecuencia_para_gasproductos)
- Domínguez G., M. C. (2015). *La contaminación ambiental, un tema con compromiso social*. *Producción + Limpia*, 10(1).  
Energía y Sociedad (14 de junio de 2020). *Es gas natural en España*. <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-5-transporte-del-gas-natural-por-gasoducto/>
- El País, (05 de mayo de 1998). Dos trenes soviéticos, destruidos al estallar un gasoducto. [https://elpais.com/diario/1998/06/05/internacional/613000814\\_850215](https://elpais.com/diario/1998/06/05/internacional/613000814_850215).
- El mundo, (06 de junio de 2014) Una explosión destruye parte de un gasoducto ucraniano que abastece a la UE [https://www.bbc.com/mundo/ultimas\\_noticias/2014/06/140617\\_ultnot\\_rusia\\_ucrania\\_gasoducto\\_explosion\\_wbm](https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2014/06/140617_ultnot_rusia_ucrania_gasoducto_explosion_wbm)
- Fernández, V. (16 de mayo de 2015). *Más de 90 casos de fuga de gas natural ocurrieron el último año*. Diario el Comercio. <http://elcomercio.pe/lima/90-casos-fuga-gas-natural-ocurrieron-ano-353323>.
- Fuentes R., R. M. (2019). *Ley de los gases* [Presentación de diapositivas]. Repositorio Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66577/secme29297.pdf?sequence=1>

- Fuquen, N. y Valest J., (2015). *Evaluación del contenido de Gas Metano Asociado al Carbón en la Zona Carbonífera de Boyacá, Área Úmbita – Laguna de Tota en la formación Guaduas (K2e1g)*. [Trabajo de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1576/1/TGT-312.pdf>
- García, C. (29 de noviembre de 2015). *Cañete: fuga de gas natural provocó un incendio en fábrica*. América Noticias. <http://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/canete-fuga-gas-provoco-incendio-fabrica-n208876>.
- García M., J. E. (2015). *Diseño de gasoductos mediante el uso de herramientas computacionales de propósito general* [Trabajo de Maestría, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional Pirhua. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2410/IME\\_191.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2410/IME_191.pdf?sequence=1)
- Gómez R., P. A. (2016). *Construcción de gaseoductos*. <http://www.unp.edu.pe/facultades/minas/petroleo/Alumn/pyg/CURSO%20CONSTRUCCION%20DE%20GASODUCTOS.pdf>
- Greenpeace (2020). *Aire tóxico, el precio de los combustibles fósiles*. <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/la-contaminacion-por-la-quema-de-carbon-petroleo-y-gas-provoca-45-millones-de-muertes-al-ano-en-todo-el-mundo-segun-greenpeace/>
- Hawk (20 abril de 2019). *Válvulas reguladoras de presión*. [https://www.hawkpumps.com/es/download-pdf-faq/S014-13%20%20valvulas%20reguladoras%20de%20presion\\_es.pdf](https://www.hawkpumps.com/es/download-pdf-faq/S014-13%20%20valvulas%20reguladoras%20de%20presion_es.pdf)
- Heede, R. (2019). *Estas son las 20 empresas responsables de un tercio de las emisiones mundiales de carbono*. Climate Accountability Institute.



- INDURA (15 de junio de 2016). *Manual de sistemas y materiales de soldadura*.  
<http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], (11 de noviembre de 2018). *Las evaluaciones del IPCC. Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_full\\_report\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf)
- La Nación (23 de marzo de 2014). *Gasoducto explota y mata a 15 en Bélgica*. Diario La Nación. <https://www.nacion.com/el-mundo/gasoducto-explota-y-mata-a-15-enBélgica/YZFMST2M6ZAOVBQGRAUZFLQWWU/story/>
- Latorre Ch., L. (2016). *Tecnología del gas natural*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/33746/20903-70668-1-B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leyva T., M. y Salazar A., S. I. (2017). *Emisiones, fugas y derrames en el transporte de hidrocarburos por ductos general* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de Universidad Nacional Autónoma de México <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14804/Emisiones%2C%20Fugas%20y%20Derrames%20en%20el%20transporte%20de%20hidrocarburos.pdf?sequence=1>
- López J., C. (2020). *El gas natural, el recorrido de la energía*. Dirección General de Industria, Energía y Minas, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000770012](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000770012).
- Madrigal, C. M. R. (2018). *Estimación de la confiabilidad estructural de ductos en condiciones de operación reales en base a la simulación de fluidos*. [Tesis de Maestría, Instituto

- Politécnico Nacional de México] Repositorio Instituto Politécnico Nacional.  
<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/24806.pdf>
- MINAM (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio* [Presentación]. Ministerio del Ambiente.  
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/prevenirlosefectosmercurio/>
- MINEM (2019). *Preguntas frecuentes en relación al gas natural en el Perú*. [Presentación de diapositivas]. Ministerio de Energía y Minas. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/gasnatural.pdf>
- Orozco B., C.; Pérez S., A.; González D., N.; Rodríguez V., F. J. y Alfayate B., J. M: (2018). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Ediciones Thomson.México.
- Ortiz, C.L.M. (2017). *Ley de los gases*. <https://preparatoriaabiertapuebla.com/wp-content/uploads/2017/11/LEYES-DE-LOS-GASES.pdf>
- Ortúzar, F. y Tornel, C (2016). *Contaminantes climáticos de vida corta*. Editado por la Universidad Nacional Autónoma de México. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA).
- OSINERGMIN (16 de mayo de 2017). *Operación de plantas de procesamiento de gas natural* [presentación de diapositivas]. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. [http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Operacion\\_Plantas\\_Procesamiento\\_de\\_Gas\\_Natural.pdf](http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Operacion_Plantas_Procesamiento_de_Gas_Natural.pdf)
- Pachano A., Lizandro y Pérez R., F. (2014). *Válvulas de control*. Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Reuters, (17 junio 2014). Explosión gasoducto Ucrania sin afectar flujo Rusia.  
<https://www.reuters.com/article/portada-ucrania-crisisdLTAKBN0ES22020140617>
- RIA Novosti, ed. (4 de junio de 2009). *Russia remembers 1989 Ufa train disaster*.  
<https://sputniknews.com/20090604/155167464.html>

- Robles J., (2019). *Población en áreas vulnerables y políticas de gestión de riesgos: El caso del transporte de gas natural por ductos* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10995>
- Rodríguez, J., Paz F., Watts, Ch., Lizárraga, C., Jiménez, G., Castellanos, A., Hinojo, C. y Macías, C., (2018). Mediciones de metano y bióxido de carbono usando la técnica de covarianza de vórtices en ganado lechero semiestabulado en Sonora, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 37(1), pp 69 – 80.
- Romero, V. (2014). *Termodinámica*. <https://www.fisica.unam.mx/personales/romero/Termo2014/Termo-Notas-2014.pdf>
- Sal y Rosas, J. M. A. (2015). *Modelo matemático para determinar la cantidad de aceite de palma en su proceso productivo* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Federico Villareal] Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villareal [http://www.unfv.edu.pe/vrin/images/documentos\\_gestion/vrin/2021/Compendio%20de%20normas%20de%20investigacion.pdf](http://www.unfv.edu.pe/vrin/images/documentos_gestion/vrin/2021/Compendio%20de%20normas%20de%20investigacion.pdf)
- Servicio Nacional de Capacitación para la Construcción [SENCICO] (2013). *Soldador de estructuras metálicas. Curso modular soldador de estructuras metálicas*. Editado por la Gerencia de Formación Profesional del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. <https://pdfslide.tips/documents/sencico-2-sencico-curso-modular-soldador-de-estructuras-metalicas-servicio.html>
- Tabares I. y Fariña J. (2016). *Comportamiento de los gases*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Rosario] Repositorio de la Universidad Nacional de Rosario. <https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/6468/740716%20FISICA%20Comportamiento%20de%20los%20gases.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Uvilla C. y Yohannessen K. (2017). Efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(2017), pp. 111-118.
- VAM INDUSTRY, (2016). *Tuberías, válvulas y accesorios*. Universidad Autónoma de Barcelona. [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v04.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf)
- Vásquez, M. A. C. (2015). *Actividades económicas que influyen en las emisiones de gases invernaderos en Colombia en los años 2005 al 2012, y el diseño de estrategias económicas que mitiguen el daño ambiental* [Tesis de Maestría, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales de Colombia]. Repositorio de la Universidad de las Ciencias Aplicadas y Ambientales de Colombia. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/501/SANCIONES%20ECONOMICAS%20A%20LOS%20GEEI%20EN%20COLOMBIA%202005-2012.%20TESIS%20UDCAEGSA.%202016.pdf>
- Velazco, P. G. (2014). *Realización de pozos para inspección en gasoductos y reparación de revestimiento* [Tesis de Maestría, Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino de Argentina]. Repositorio de la Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino de Argentina [http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1063/2015\\_SH\\_016.pdf?sequence=1](http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1063/2015_SH_016.pdf?sequence=1)
- World Energy Council [WEC] (11 de julio de 2020). *Las reservas mundiales de petróleo podrían acabarse dentro de medio siglo*. World nergy Council. <https://actualidad.rt.com/actualidad/view/108788-reservas-mundiales-petroleo-energia-acabarse>
- Exelair (2019). *La importancia de la soldadura en la industria metalúrgica*. <https://exelair.com.mx/blog/la-importancia-de-la-soldadura-en-la-industria-metal%C3%BArgica>

- Yi-huah, J. (14 de julio de 2014). *Fuga subterránea de gas deja 20 muertos y 270 heridos en Taiwán*. Diario Perú21. <http://peru21.pe/mundo/taiwan-explosion-fugas-subterraneras-gas-kaohsiung-2194170>
- Zepeda, A. (2019). *Gas natural*. [Presentación de Diapositivas]. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://profesores.fi-b.unam.mx/l3prof/Carpeta%20energ%EDa%20y%20ambiente/Gas%20Natural.pdf>

## IX. Anexos

### Anexo A: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Dimensiones
¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca?	Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca	La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental en la línea de transmisión del distrito de Chilca	<i>Variable independiente:</i> Fuga de gas natural.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniones defectuosas.</li> <li>• Válvulas instaladas defectuosas.</li> <li>• Actividades antropogénicas.</li> </ul>
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Indicadores
1. ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?	1. Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	1. La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las uniones defectuosas del gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	<i>Variable dependiente:</i> Contaminación ambiental por el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformaciones en las uniones soldadas.</li> <li>• Fisuras en las uniones soldadas.</li> <li>• Poros en las uniones soldadas.</li> </ul>
2. ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?	2. Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	2. La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las válvulas instaladas defectuosas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defectos en los sellos de las válvulas.</li> <li>• Defectos en los asientos de las válvulas.</li> <li>• Defectos en los manómetros de las válvulas.</li> </ul>
3. ¿En qué medida la fuga de gas natural incide en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca?	3. Determinar las incidencias de la fuga de gas natural en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.	3. La fuga de gas natural incide significativamente en la contaminación ambiental por las actividades antropogénicas en el gasoducto en la línea de transmisión del distrito de Chilca.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipulación indebida en las válvulas.</li> <li>• Manipulación indebida en los manómetros.</li> <li>• Manipulación indebida en los postes.</li> </ul>

**Anexo B: Panel de fotos**











## Anexo C: Norma ASME B31 8-2003

### Definición de términos

**Norma ASME B31 8-2003**  
*Sistema de tuberías y transmisión y distribución de gas*

- **813.16 Cámara**, es una estructura subterránea a la cual puede ingresarse y que está diseñada para contener tubería y componentes de tubería (tales como válvulas y reguladores de presión).
- **804.235 Elongación mínima especificada**, es la elongación mínima (expresada en porcentaje de la longitud medida) en el espécimen de prueba de tracción, prescrita por la especificación bajo la cual se adquiere el material del fabricante.
- **803.11 Gas**, tal como se usa en el presente Código, es cualquier gas o mezcla de gases apropiada para usos como combustible doméstico o industrial y transportado o distribuido al usuario a través de un sistema de tuberías. Los tipos comunes son el gas natural, gas manufacturado y gas licuado de petróleo, distribuido como un vapor, con mezcla de aire o sin ella.
- **813.18 Gasoducto**, son todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el gas en su transporte, incluyendo tuberías, válvulas, accesorios, bridas (incluyendo el empernado y las empaquetaduras), reguladores, recipiente a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue, y otros accesorios instalados en la tubería, unidades de compresión, estaciones de medición, estaciones de regulación, y conjuntos fabricados. Se incluyen en esta definición las

líneas de transporte y recolección de gas, incluyendo sus complementos o accesorios que se halla instalados costa fuera para el transporte de gas desde las instalaciones de producción a localidades en tierra y equipos de almacenamientos de gas del tipo de tubería cerrada, que se fabrican o se forjan de tubería o se fabrican con tubería y accesorios.

- **805.214 *Máxima presión admisible de operación (MAOP)***, es la presión máxima a la cual un sistema de gas puede operarse de acuerdo con las disposiciones del presente Código.
- **805.215 *Máxima presión admisible de prueba***, es la máxima presión interna del fluido permitida por el presente Código para una prueba de presión, basada en el material y la localidad de que se trate.
- **808.213 *Máxima presión de operación (MOP)***, algunas veces se

hace referencia a ella como la máxima presión de operación actual o real; es la presión más alta a la cual se opera un sistema de tuberías durante un ciclo normal de operación.

- **805.211 *Presión***, a menos que se indique de otra manera, se expresa en libras por pulgada cuadrada, por encima de a presión atmosférica (es decir, presión manométrica) y se abrevia PSIG.
- **805.212 *Presión de diseño***, es la máxima presión permitida por este Código, según se la determina mediante los procedimientos aplicables a los materiales y las localidades de las que se trate.
- **805.217 *Protección contra sobrepresiones***, se provee mediante un dispositivo o equipo instalado para evitar la presión excesiva en un recipiente de presión, un gasoducto

o un sistema de distribución, excediendo un valor predeterminado. Puede obtenerse esta protección instalando una estación de desahogo o alivio de presiones o una estación limitadora de presión.

- **804.243 *Proceso de manufactura de la tubería***, Los tipos y nombres de uniones soldadas se usan aquí de acuerdo con su uso común según se las define en ANSI / AWS A3.0.
- **805.218 *Prueba de retención de presión***, demuestra que los tubos o el sistema de tubería no tiene fugas, según se evidencia por la no caída de presión durante un período de tiempo especificado después de que la fuente de presión ha sido aislada.
- **804.231 *Resistencia a la fluencia***, expresada en libras por pulgada cuadrada, es la resistencia a la cual el material exhibe una deformación

especificada limitante permanente, o produce una elongación total especificada bajo la carga. La deformación especificada limitante o la elongación, generalmente se expresan como un porcentaje de la longitud medida. Sus valores se especifican en las diferentes especificaciones de materiales aceptables bajo el presente Código.

- **804.232 *Resistencia a la tracción***, expresada en libras por pulgada cuadrada, es la mayor tensión de tracción unitaria (referida a la sección transversal original) que un material puede soportar antes de la falla.
- **804.234 *Resistencia mínima especificada de tracción***, expresada en libras por pulgada cuadrada, es la mínima resistencia a la tracción prescrita por la especificación bajo la cual se adquiere la tubería del fabricante.

- **803.15 Salidas a presión (hot taps)**, son conexiones secundarias de tubería o ramales, que se hacen en las líneas de ductos operativos o líneas principales u otras instalaciones, mientras las mismas se hallan en operación. La tubería de ramal se conecta a la tubería principal, y se hace la unión de toma o derivación de la línea de operación mientras ésta se halla bajo presión.
- **805.221 Temperatura**, se expresa en grados Fahrenheit (°F), a menos que se indique de otra manera.
- **805.222 Temperatura ambiente**, es la temperatura del medio circundante, usada generalmente para referirse a la temperatura del aire en la cual está situada una estructura o en la cual opera un dispositivo.
- **805.223 Temperatura del suelo**, es la temperatura de la tierra a la profundidad en que se halla la tubería.
- **805.231 Tensión**, expresada en libas por pulgada cuadrada, es la fuerza interna resultante, que resiste el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo sobre el que se actúa mediante fuerzas externas. En el presente Código, a menudo se usa “tensión” como un sinónimo de tensión unitaria, que es la tensión por unidad de superficie.
- **805.233 Tensión de aro ( $S_H$ )**, es la tensión en un tubo cuyo espesor de pared es  $t$ , actuando circunferencialmente en un plano perpendicular al eje longitudinal del tubo, producido por la presión  $P$ , del fluido dentro de un tubo de diámetro  $D$ , que se determina con la fórmula de Barlow.

- **805.232 *Tensión de operación***, es la tensión en un ducto o en un miembro estructural, bajo condiciones normales de operación.
- **804.233 *Tensión mínima especificada de fluencia (SMYS)***, expresada en libras por pulgada cuadrada, es la mínima resistencia a la fluencia prescrita por la especificación bajo la cual se adquiere la tubería del fabricante.
- **813.17 *Transporte de gas***, es la recolección, transporte o distribución de gas por gasoducto o el almacenamiento de gas.
- **804.241 *Tubería de acero al carbón***, Ya por costumbre generalizada, se considera que el hacer sea acero al carbón cuando no se especifica o se requiere un mínimo contenido de aluminio, boro, cromo, cobalto, molibdeno, níquel, niobio, titanio, tungsteno, vanadio, zirconio, o cualquier otro elemento añadido para obtener un efecto de aleación deseado; cuando el mínimo especificado para cobre no excede el 0.40%; o cuando el máximo contenido especificado para cualquiera de los siguientes elementos no excede los siguientes porcentajes: 1) cobre 0,60%. 2) manganeso 1,65 %. 3) silicio 0,60 %.
- **804.243.a) *Tubería soldada por resistencia eléctrica***, es tubería producida en tramos individuales o en longitudes continuas a partir de tira metálica enrollada que posteriormente se corta en tramos individuales. Los tramos resultantes, tienen una unión longitudinal a tope donde la coalescencia se produce por el calor obtenido de la resistencia del tubo al flujo de la corriente eléctrica en un circuito del cual el tubo es una parte,

y por la aplicación de presión. Las especificaciones típicas son ASTM A 53, ASTM A 135 y API 5L.

- **804.211 *Tubo***, es un producto tubular fabricado para venderlo como un ítem de producción. Los cilindros formados de plancha durante la fabricación de equipo auxiliar, no son tubos, de acuerdo a la definición que aquí se da.
- **804.212 *Tubo expandido en frío***, es tubería sin costura o soldada que se forma y luego se expande en frío mientras se halla en la fundición, de manera que la circunferencia se aumente permanentemente por lo menos en un 0,50%
- **803.41 *Válvula de retención***, es una válvula instalada para detener el flujo de gas en una tubería.



## Anexo D Procedimiento P-COO-025

**Procedimiento P-COO-025**  
*Procedimiento de prueba neumática en redes de acero*

- ***Aceptación de la prueba neumática***, es el acto mediante el cual el ingeniero de proyectos, ha comprobado las condiciones y los resultados aceptables, y por lo tanto, suscribe los registros y/o protocolos, que los demuestran.
- ***Acometida***, instalación que permite el suministro de gas natural, desde las redes de distribución hasta la instalación interna.
- ***Cruces especiales***, cruces de las redes de distribución con líneas férreas o de transporte, cruce de carreteras o ríos o túnel liner u otro que amerite un estudio para no dañar instalaciones existentes.
- ***Equipos de prueba***, son los equipos requeridos para lograr las condiciones necesarias previstas durante las pruebas.
- ***Flushing de tuberías***, es el soplado de las tuberías antes de realizar una prueba neumática. El flushing puede ser una recirculación o puede ser abierto.
- ***Instrumentos de control y medición durante la prueba***, son los instrumentos requeridos para controlar y asegurar que se alcancen los valores determinados de los parámetros, durante el desarrollo completo de la prueba.
- ***Prueba neumática***, es la prueba de presión que se realiza usando como fluido de prueba generalmente aire, nitrógeno u otro gas inerte.

- **Spool**, conjunto de niples, tuberías y accesorios que en conjunto y armados responden a una determinada configuración geométrica, adecuada para ser instalada en obra.
- **Tubería de conexión**, instalación comprendida por tubería de acero, accesorios, válvulas de servicio y válvulas de purga, con extensoras; que deriva de la red.

**Anexo E: Procedimiento P-COO-026****Procedimiento P-COO-026**  
*Procedimiento de prueba resistencia y hermeticidad de redes de acero*

- ***Aceptación de las pruebas***, la aceptación de las pruebas de resistencia y hermeticidad es el acto mediante el cual el inspector de proyectos, ha comprobado las condiciones y los resultados aceptables, y que, por lo tanto, suscribe los registros y/o protocolos que demuestran tal condición.
- ***Cabezas de prueba***, son elementos metálicos diseñados, y fabricados según las prescripciones del estándar API 1104 o Norma ASME IX y sometidos a prueba, es decir, deben ser considerados como recipientes a presión y sometidos a las siguientes pruebas: 1) Aplicación de END al 100 %. 2) Pruebas neumática y/o hidrostática.
- ***Equipos de prueba***, son los equipos requeridos para lograr las condiciones necesarias previstas durante las pruebas.
- ***Instrumentos de control de las pruebas***, son los instrumentos requeridos para controlar y asegurar que se alcancen los valores de los parámetros que deben ser controlados durante el desarrollo completo de las pruebas.
- ***Prueba de resistencia***, el propósito de las prueba de resistencia es poner en evidencia defectos de las tuberías o de los accesorios que no son detectados en los procesos de control de fábrica. Además, se realiza con la finalidad de asegurar que la tubería sea lo suficientemente resistente para funcionar bajo las

condiciones normales de operación.

La prueba de resistencia se realizará a una presión de 50 % adicional a la presión de diseño de la tubería a probar. La duración de la prueba es como mínimo 8 horas.

- **Prueba de hermeticidad**, se realizará al finalizar la prueba de resistencia. Esta prueba se realiza con la finalidad de comprobar la hermeticidad de tramo liberado ya

sometido a la prueba de resistencia y para demostrar la inexistencia de fugas en la tubería. La duración de la prueba es como mínimo 24 horas.

- **Tramo de prueba**, conjunto de tuberías y accesorios que conforman un gasoducto o red de tuberías para distribución de gas natural y que posteriormente a su construcción serán sometidos a pruebas de presión.

#### **Procedimiento P-COO-015**

##### ***Procedimiento de planificación y uso de END en redes de acero***

- **Ensayo No Destructivo (END)**, son ensayos que se utilizan para ubicar discontinuidades superficiales o internas en las uniones soldadas. Las técnicas aplicables a la ejecución de ensayo no destructivos son concordantes con lo establecido en los requerimientos y especificaciones técnicas contractuales de proyecto.
- **Inspección de líquidos penetrante**, es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados.
- **Inspección por radiografía industrial**, es un tipo de ensayo no

destrutivo que se utiliza para detectar e identificar algunas discontinuidades dentro del material.

- ***Inspección por ultrasonido***, es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material.
- ***Inspección visual (IV)***, secuencia de operaciones (referidas a la inspección visual de soldadura) que tiene como finalidad asegurar la calidad de las uniones soldadas realizadas en la tubería de acero. Esta se realiza antes, durante y después de cada unión soldada.
- ***Partículas magnéticas***, es un tipo de ensayo no destructivo que permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos.