

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA CONTROLAR LAS
VÁLVULAS DE CIERRE DE EMERGENCIA EN LA ETAPA DE
TRANSPORTE DE GAS NATURAL”

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORES:

Br. JUNIOR JAIR MIXÁN RODRIGUEZ

Br. JULIO CESAR MORENO ORTIZ

ASESOR:

MS. FILIBERTO MELCHOR AZABACHE FERNANDEZ

TRUJILLO – PERÚ

2017

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA CONTROLAR LAS
VÁLVULAS DE CIERRE DE EMERGENCIA EN LA ETAPA DE
TRANSPORTE DE GAS NATURAL”**

Elaborado por:

Br. Julio C. Moreno Ortiz
Tesisista

Br. Junior Mixán Rodríguez
Tesisista

Aprobado por:

Ing. SAUL NOE LINARES VERTIZ
PRESIDENTE
CIP N° 142213

Ing. LENIN HUMBERTO LLANOS LEÓN
SECRETARIO
CIP N° 139213

Ing. OSCAR MIGUEL DE LA CRUZ RODRIGUEZ
VOCAL
CIP N° 85598

Ms. Ing. FILIBERTO MELCHOR AZABACHE
FERNANDEZ
ASESOR
CIP N° 97916

Presentación

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad a lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, pongo a vuestra consideración el trabajo de Investigación Titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD PARA CONTROLAR LAS VÁLVULAS DE CIERRE DE EMERGENCIA EN LA ETAPA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL” a fin de ser evaluado.

Espero que el presente trabajo cubra las expectativas que tienen al respecto, excusándome de antemano por los errores involuntarios incurridos en el desarrollo.

Trujillo, Diciembre del 2017

Br. Julio Cesar Moreno Ortiz

Br. Junior Jair Mixán Rodríguez

Dedicatorias

A Christian Vadillo por brindarnos la información necesaria, que además de ser vital para la construcción del proyecto dejó grandes enseñanzas acerca de los procedimientos técnicos.

Al Ingeniero Filiberto Azabache por todas sus asesorías y sugerencias técnicas que fueron de gran importancia en la elaboración de este proyecto de grado.

Finalmente, a todas aquellas personas que colaboraron en la elaboración, revisión y culminación del trabajo de grado.

Agradecimientos

Primordialmente agradecer a Dios y a nuestras familias ya que con su apoyo incondicional el desarrollo de este proyecto ha sido posible.

Además, extender un sincero agradecimiento a la facultad de Ingeniería Electrónica por todos los fundamentos teóricos y prácticos que fueron implementados a lo largo de la carrera y en especial en este trabajo.

Resumen

La presente investigación tiene como principal objetivo diseñar un sistema de seguridad para controlar las válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural para lo cual se estudia el sistema de transporte de gas natural, se determina el factor crítico a supervisar, se propone una filosofía de control, se desarrolla y se simula el algoritmo en base a data histórica almacenada en el procesador simulado, y finalmente se propone un equipamiento requerido y se estima la inversión.

Para cumplir los objetivos planteados se tienen como precedentes tesis, trabajos de investigación, papers y revistas tecnológicas referentes a sistemas de control para distribución de gas natural y sistemas de detección de fugas.

Finalmente, se recolecta información de las variables presión y temperatura; se modela el sistema propuesto y se simula la operación del sistema de seguridad en base a datos históricos.

Abstract

The main objective of this research is to design a safety system to control the emergency shut-off valves in the natural gas transport stage, for which the natural gas transport system is studied, the critical factor to be monitored is determined, proposes a control philosophy, the algorithm is developed and simulated based on historical data stored in the simulated processor, and finally a required equipment is proposed and the investment is estimated.

In order to meet the objectives set, theses, research papers, papers and technology journals concerning control systems for natural gas distribution and leak detection systems are precedents.

Finally, information on the pressure and temperature variables is collected; the proposed system is modeled and the operation of the security system is simulated based on historical data.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
1.2. Delimitación del problema.....	3
1.3. Características y análisis del problema.....	3
1.4. Formulación del Problema.....	4
1.5. Formulación de la hipótesis.....	4
1.6. Objetivos del estudio.....	4
1.7. Justificación de la investigación.....	5
1.7.1. Importancia de la investigación.....	5
1.7.2. Viabilidad de la investigación.....	6
1.8. Limitaciones del estudio.....	6
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	7
2.2. Fundamentación teórica de la Investigación.....	7
2.2.1. Gas Natural.....	7
2.2.2. Sistemas de transporte de Gas Natural.....	8
2.2.3. Sistema de control.....	11
2.2.4. Válvulas de cierre de emergencia.....	11
2.2.5. Métodos de detección y diagnóstico de fallas.....	11
2.2.6. Método de detección de fugas por variación de presión.....	12
2.2.7. Velocidad de propagación de la onda de presión en un gas ideal.....	14
2.2.8. Lenguajes de programación.....	14
2.2.9. Diagrama de bloques de funciones (FBD).....	15
2.2.10. Simulador PLC con Diagrama de bloques funcionales.....	16
2.3. Definición de términos básicos.....	17
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
3.1. Material.....	18
3.1.1. Población y muestra.....	18

3.1.2. Unidad de análisis.	18
3.2. Método.....	18
3.2.1. Nivel de Investigación.....	18
3.2.2. Diseño de investigación.....	18
3.2.3. Variables de estudio y operacionalización.	19
3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	22
3.2.4.1. Observación de campo no experimental.....	22
3.2.5. Técnicas de procesamiento de datos.	26
4. RESULTADOS.	34
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
6. CONCLUSIONES.....	42
7. RECOMENDACIONES.....	43
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente</i>	20
<i>Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente</i>	21
<i>Tabla 3: Span y rango de transmisor de presión.</i>	22
<i>Tabla 4: Máxima sobrepresión del transmisor de presión.</i>	22
<i>Tabla 5: Datasheet IGP10.</i>	23
<i>Tabla 6: Span y rango de RTT15</i>	23
<i>Tabla 7: Datos de la entrevista con Christian Vadillo.</i>	24
<i>Tabla 8. Parámetro de ingreso al bloque FBD Procesamiento</i>	33
<i>Tabla 9. Parámetros de salida del bloque FBD Procesamiento</i>	33
<i>Tabla 10. Simulación con valores iniciales de entrada.</i>	36
<i>Tabla 11. Simulación con valores iniciales de salida.</i>	36
<i>Tabla 12. Simulación con valores finales de entrada</i>	36
<i>Tabla 13. Simulación con valores finales de salida</i>	37
<i>Tabla 14. Simulación con valores finales de entrada</i>	37
<i>Tabla 15. Simulación con valores finales de salida</i>	37
<i>Tabla 16. Materiales y costos de equipos.</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de tiempos en un segmento.	13
Figura 2. Esquema con Lenguaje FBD.	16
Figura 3. HMI de la válvula VDHMIC044 (V1).....	25
Figura 4. HMI de la válvula VLHM021.....	26
Figura 5. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM044-PI-3101.....	27
Figura 6. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM044-PI-3103.....	27
Figura 7. Gráfica de registros de temperatura del transmisor VLHM044-TI-3101.	28
Figura 8. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM021-PI-3101.....	28
Figura 9. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM021-PI-3103.....	29
Figura 10. Gráfica de registros de temperatura del transmisor VLHM021-TI-3101.	29
Figura 11. Filosofía de control en bloques.	30

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad Problemática.

La definición más acertada para esta investigación con respecto al gas natural es la que indica Ministerio de Energía y Minas (s.f.): El gas natural es un combustible compuesto por un conjunto de hidrocarburos livianos, el principal componente es el metano (CH₄). Se puede encontrar como “gas natural asociado” cuando está acompañando de petróleo, o bien como “gas natural no asociado” cuando son yacimientos de gas natural (párr. 1-2).

El transporte del gas natural se explica de manera general en el documento elaborado por Organismo supervisor de la inversión en energía y minería “Sistema de transporte y distribución de gas natural en el Perú”: El aprovechamiento del gas natural en estado gaseoso involucra su transporte por ductos en diferentes etapas. Una vez extraído de pozos ubicados en tierra firme (onshore) o mar adentro (offshore), el gas natural es enviado por gasoductos a plantas de procesamiento para separarlo de los líquidos de gas natural (LGN), eliminar sus impurezas y reducir los niveles de otros gases que dificultan su manejo y procesamiento. El gas así obtenido se denomina también gas natural seco (GNS). (Organismo supervisor de la inversión en energía y minería, 2012, p.3)

Desde las plantas de procesamiento, el GNS es transportado, también por gasoductos, hasta las estaciones de regulación y medición (City Gate) para luego ser entregado (igualmente por ductos) a centrales de generación eléctrica, plantas industriales, plantas de gas natural comprimido (GNC), estaciones de gas natural vehicular (GNV) y redes urbanas de distribución del hidrocarburo (Organismo supervisor de la inversión en energía y minería, 2012, p.3).

La mayor parte de la producción de gas natural es transportada por tuberías de alta presión (redes de acero) y de gran diámetro desde los campos de producción, plantas de procesamiento e instalaciones de almacenamiento hasta estaciones de compuerta o City Gates. En la etapa de transporte es en donde la probabilidad de producirse algún accidente aumenta pues la mayoría de las veces los ductos y válvulas están sometidas a condiciones

ambientales adversas, variaciones de presión, cambios de temperatura, presencias de intrusos, entre otros.

Según Gómez S. (2014) “Los accidentes producidos por el gas natural son los segundos con mayor nivel de ocurrencia en el mundo, así lo reporta la base Mhidas del Health and Safety Executive del Reino Unido que, desde 1980, reporta incidentes en más de 95 países”. (párr. 10).

Según Gómez S. (2014) “De acuerdo con el informe mundial, de los 2.884 incidentes reportados, el gas natural fue la segunda sustancia responsable, con el 11,29% y un total de 321 situaciones, casi una por día durante un año”. (párr. 11).

Según Gómez S. (2014) “Por tipo de incidente, el estudio muestra que son cuatro los básicos: explosión, fuga, fuego y nube de gas. El primero es el más frecuente para el gas natural y otras sustancias, con el 88,51% de los casos”. (párr. 15).

De acuerdo a lo publicado en la revista SPUTNIK (2009), el 4 de junio de 1989 en Rusia se produjo una deflagración tras una fuga de gas natural en estado líquido debido a que las ruedas de dos trenes produjeron chispas cerca de la zona de la grieta. Luego de las investigaciones se llegó a concluir que, tras el descenso de presión en la tubería, los trabajadores de la zona decidieron incrementar el flujo lo cual aceleró el desplazamiento del gas hacia las vías del tren. (párr. 1-2)

Según la revista EXPANSION (2012), el 22 de abril de 1992 en Guadalajara enfrentó la peor tragedia que haya sufrido por una explosión. Poco después de las 10 de la mañana se registraron 10 estallidos en el colector oriente de la ciudad. Uno tras otro, en minutos, sorprendieron a los vecinos del Sector Reforma, de los cuatro en los que se dividía la ciudad. El barrio más dañado fue Analco, ubicado al oriente de Guadalajara. (párr.3).

Según la revista EXPANSION (2012), la versión de la Procuraduría General de la República tras los peritajes fue que concurren "numerosos factores y no solo la rotura del poliducto Salamanca-Guadalajara"; entre esos factores, en voz de Morales Lechuga, estaban una obra del Tren Eléctrico Urbano y el "montaje inadecuado" de un tubo de agua sobre el poliducto (párr. 15).

Según la revista EXPANSION (2011) el 23 de diciembre del 2011 en Colombia “Al menos 13 personas murieron y 70 resultaron heridos después de que explotó un gasoducto en el occidente de Colombia la mañana de este viernes, informó la televisora Caracol, afiliada de CNN, citando a las autoridades” (párr. 1).

Según la revista EXPANSION (2011), “otra hipótesis sobre el origen del accidente apunta a una ruptura en la red, que habría causado el derrame del combustible y su posterior incendio” (párr. 6).

Según Rave G. en la web de América Noticias, “El 29 de noviembre del 2015 en Perú (Cañete) se registró una abertura de una matriz subterránea de Camisea, generando un incendio en una fábrica debido a la fuga de gas.” (Párr. 1)

De los casos mencionados en los párrafos anteriores, se puede inferir que el transporte del gas natural es una etapa crítica que debe estar bajo supervisión constante para proteger la integridad del personal y la integridad del ducto.

1.2. Delimitación del problema.

El presente trabajo de investigación se delimita a estudiar los factores que ocasionan una situación peligrosa en la etapa de transporte de gas natural a fin de proponer una alternativa para controlar el cierre de una válvula ante una situación de emergencia.

1.3. Características y análisis del problema.

La realidad problemática estudiada presenta las siguientes características.

- ❖ Variaciones de presión en el transporte de gas natural.
- ❖ Variaciones de flujo en el ducto.
- ❖ Cambios de temperatura en el transporte de gas natural.
- ❖ Intrusión de personas en la etapa de transporte de gas natural.
- ❖ Fuentes de ignición en la etapa de transporte de gas natural.

Análisis de las características de la realidad

- ❖ Las variaciones bruscas de presión y flujo nos pueden indicar una posible fuga en el ducto y pueden dañar la tubería o al personal. De acuerdo a la magnitud de la fuga se puede generar una atmósfera explosiva provocando accidentes como incendios y explosiones. Una fuga se puede producir por alta presión, corrosión externa o interna, efectos del tráfico, movimientos del suelo, entre otros.
- ❖ Las variaciones de temperatura se deben tener monitoreadas debido a que se puede ver afectada la integridad estructural del ducto y así mismo la velocidad de propagación de la onda de presión.
- ❖ Personas ajenas pueden irrumpir en la zona clasificada y producir algún accidente. Por ejemplo: Las personas que roban combustibles perforan el ducto y pueden ocasionar alguna explosión, incendio o fuga.
- ❖ La fuente de ignición es toda aquella fuente de energía que puede producir un incendio en contacto con un combustible y en presencia de una concentración de oxígeno adecuada.

1.4. Formulación del Problema.

¿Cómo diseñar un sistema de seguridad para el control de las válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural?

1.5. Formulación de la hipótesis.

El estudio de los niveles de presión interna y temperatura en los ductos permite diseñar el sistema de seguridad para el control de válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural.

1.6. Objetivos del estudio.

Objetivo general:

- Diseñar un sistema de seguridad para controlar las válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural.

Objetivos específicos:

- Estudiar el sistema de transporte de gas natural.
- Determinar el factor crítico a supervisar en el sistema de transporte.
- Proponer una filosofía de control.
- Desarrollar y simular el sistema de control para el cierre de válvulas.
- Evaluar la funcionalidad.
- Proponer equipamiento requerido y estimar inversión.

1.7. Justificación de la investigación.

1.7.1. Importancia de la investigación.

En los últimos años se han producido accidentes en el transporte de gas natural ocasionados por distintos factores (error humano, variaciones de presión, fugas, temperaturas y entre otros), lo cual nos lleva a la necesidad de diseñar un sistema de seguridad en el transporte de gas natural.

Esta investigación tiene como fin tener los siguientes aportes:

- Aporte tecnológico

Proponer un diseño de un sistema de seguridad para una válvula de cierre de emergencia en el transporte de gas natural.

- Aporte académico

Proponer una metodología para el diseño de un sistema de seguridad de una válvula de cierre de emergencia, para lo cual tomaremos los factores que nos permitirán obtener los criterios para el adecuado control de una válvula de cierre de emergencia.

1.7.2. Viabilidad de la investigación.

La presente investigación se puede simular, tiene un costo reducido y se cuenta con acceso a diversa documentación.

1.8. Limitaciones del estudio.

Esta investigación no llegará a la implementación debido a que no se cuenta con las facilidades para poder llevarla a cabo.

2. MARCO TEORICO.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Habiendo realizado una pesquisa bibliográfica, se encontraron los siguientes antecedentes relacionados con la investigación:

- ❖ Luis B. (2014) en su investigación titulada “Detección de fugas en los procesos de una refinería” se propuso investigar la detección de pérdidas de material en el transporte entre procesos de una refinería, para lo cual desarrolló herramientas computacionales, logrando detectar las perdidas en el proceso de refinamiento de petróleo usando modelos de flujo en redes que incorporan datos de balance de masas. El principal aporte al trabajo de investigación es que se comprobó que es posible detectar fugas con precisión con el método balance de masas.
- ❖ Jhony Calderón (2012) en su investigación titulada “Método de detección y ubicación de fugas, en ductos de gran longitud, mediante velocidad de propagación de onda de presión negativa en ductos con mediciones de presión multipunto” se propuso investigar los métodos de detección de fugas existentes, para lograr desarrollar un método en condiciones que se presentan comúnmente en la práctica, logrando localizar y detectar una fuga. El principal aporte al trabajo de investigación es el comportamiento de la presión frente a diferentes eventos.

2.2. Fundamentación teórica de la Investigación

2.2.1. Gas Natural

“El gas natural es un combustible fósil formado por un conjunto de hidrocarburos que, en condiciones de reservorio, se encuentran en estado gaseoso o en disolución con el petróleo. Se encuentra en la naturaleza como «gas natural asociado» cuando está acompañado de petróleo y como «gas natural no asociado» cuando no está acompañado de petróleo” (Caceres, 2002, p.17).

“El principal componente del gas natural es el metano, que usualmente constituye el 80% del mismo. Sus otros componentes son el etano, el propano, el butano y otras fracciones más pesadas como el pentano, el hexano y el heptano”. (Caceres, 2002, p.17).

Generalmente contiene 1% de impurezas como son el nitrógeno, bióxido de carbono, helio, oxígeno, vapor de agua y otras que son también de combustión limpia. (Caceres, 2002, p.17).

A diferencia del petróleo, el gas natural no requiere de plantas de refinación para procesarlo y obtener productos comerciales. Las impurezas que pueda contener el gas natural son fácilmente separadas por procesos físicos relativamente sencillos. (Caceres, 2002, p.17).

2.2.2. Sistemas de transporte de Gas Natural

Según el informe 122 quincenal de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, el Gas Natural se transporta mediante ductos hacia las ciudades para su consumo domiciliario, industrial o vehicular, o hacia centrales termoeléctricas para su utilización en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, en algunas ocasiones, por temas de distancia y costo, se utilizan otras formas de transporte como los buques metaneros o los gasoductos virtuales. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

❖ Gasoductos

Es la forma más conocida y usada de transporte del Gas Natural a gran escala. Los gasoductos pueden unir distancias de hasta 3000 km, aproximadamente, y suelen tener una red de ductos que se conectan al ducto principal con el fin de abastecer a las poblaciones cercanas a la trayectoria del mismo. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

❖ Buques Metaneros

Este sistema de transporte se usa cuando las distancias son bastante amplias entre el punto de producción y el de consumo. En este caso la opción de la construcción de un gasoducto llegaría a ser demasiado costosa. Para que sea viable esta opción de transporte, se debe contar con: (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

- Plantas de criogenización (que enfrían el gas natural a -161°C hasta reducir en 600 veces su volumen y convirtiéndolo en líquido, es decir en Gas Natural Licuefactado (GNL)), para hacer económicamente viable y seguro su transporte. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).
- El servicio de buques metaneros. Estos buques metaneros cuentan con tanques especialmente acondicionados para mantener el GNL a la temperatura indicada y transportarlo de manera segura. Uno de estos buques metaneros puede transportar hasta 170 mil metros cúbicos de GNL. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).
- “Plantas regasificadoras en los puertos de destino”. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

❖ Gasoductos Virtuales

Este sistema consiste en el transporte terrestre de Gas Natural, a distancias relativamente cortas utilizando camiones especialmente acondicionados para este fin. Existen diversas tecnologías desarrolladas en este campo que permiten abastecer a lugares cuya demanda resulta pequeña y no justifica económicamente la construcción de un gasoducto. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

Hay dos opciones de hacer uso de este transporte:

1) Usando Gas Natural Comprimido (GNC): Cuando lo que se transporta es el Gas Natural que se comprime al someterlo a grandes presiones (de allí su nombre), logrando que su volumen se reduzca en 100 veces (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

- El GNC se almacena en módulos independientes de hasta 1500 metros cúbicos de capacidad cada uno, transportando en cada camión de hasta 4 módulos. Esto

totaliza una capacidad máxima de transporte de 6000 metros cúbicos de GNC por camión (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

- La ruta del camión es lo que llamamos Gasoducto Virtual. Una vez en su destino, el GNC es descomprimido para su posterior uso en plantas industriales o comercialización en estaciones de Gas Natural Vehicular (GNV). (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

2) Usando Gas Natural Licuefactado (GNL): Para este sistema de transporte se aplica lo indicado en el caso de buques metaneros, debido a que se enfría el Gas Natural a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, convirtiéndolo en líquido (GNL) y reduciendo en 600 veces su volumen (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

- Igualmente, existen diversas tecnologías para el transporte del GNL. Algunas ofrecen el almacenamiento en cilindros horizontales (de mayor volumen) o verticales (compartimientos independientes de menor volumen). Al igual que en el caso anterior, el transporte de GNL constituye un gasoducto virtual. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).
- Debido a su mayor reducción de volumen frente al GNC, esta opción transporta un mayor volumen hacia puntos distantes. Sin embargo, para que su uso sea viable, es necesario contar con plantas de regasificación en las zonas de destino, para su posterior uso y distribución final como Gas Natural a través de una estación de servicios (GNV) o de una red de distribución domiciliaria (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2015).

2.2.3. Sistema de control

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares. (Ogata K, 2010, p 3)

2.2.4. Válvulas de cierre de emergencia.

Una válvula de cierre de emergencia o también conocidas como ESDV, es una válvula accionada diseñada para detener el flujo de fluidos o gases nocivos al detectarse una situación peligrosa. Tiene como misión proteger a las personas, los equipos o el ambiente. Las válvulas ESD son obligatorias por ley en todo equipo ubicado en una plataforma de perforación mar adentro para evitar catástrofes (MOGAS Industries, 2013, p 14).

Las principales características de este tipo de válvula son:

- Cierre hermético.
- Vástago a prueba de explosiones.
- Diseño a prueba de incendios.
- Diseño compacto.
- Diseño certificado para uso en aplicaciones SIL 3.

2.2.5. Métodos de detección y diagnóstico de fallas.

2.2.5.1. Métodos cuantitativos basados en modelos.

Son aquellos que se basan en el modelo matemático del sistema, su efectividad depende de que tan aproximado es su modelo a la planta real es decir debe correlacionar las variables para determinar el comportamiento del proceso. Estos modelos son alimentados por variables reales y generan residuos. Teóricamente si la

planta está trabajando de forma correcta el residuo es cero, dependiendo como este estructurado el generador de residuos estos pueden diferenciar del comportamiento de la planta con falla contra la del modelo en funcionamiento nominal o también coincidencias del comportamiento de la planta con modelos de la planta con fallas aisladas y determinadas (Calderón, 2012, p 25).

2.2.5.2. Métodos basados en el historial del proceso.

Estos métodos requieren de gran cantidad de datos históricos del proceso, de la forma como extraigan los datos del proceso estos pueden ser cualitativos o cuantitativos. Entre los métodos cualitativos los más populares son: Análisis de tendencias (QTA. Qualitative Trend Analysis) y los Sistemas expertos. En el método de Análisis de tendencias (QTA) se toman los datos de los sensores que monitorean el sistema forma bases de datos y con ellos tendencias de las variables cuando la planta está funcionando correctamente, en base de estas tendencias vigila cuando alguna de ellas se desvía de una media, genera una alarma de falla. La mayoría de estos sistemas son estadísticos donde la identificación e interpretación de las tendencias, el encontrar los umbrales cercanos a la media que den la falla, toman tiempo para encontrarlas por lo que en un inicio se requieren continuas calibraciones del sistema. (Calderón, 2012, p 26).

2.2.6. Método de detección de fugas por variación de presión.

El siguiente dibujo demuestra que se puede detectar la ubicación exacta de una fuga mediante el método de variación de presión tomando dos transmisores de presión ubicados en el ducto (Calderón, 2012, p 13).

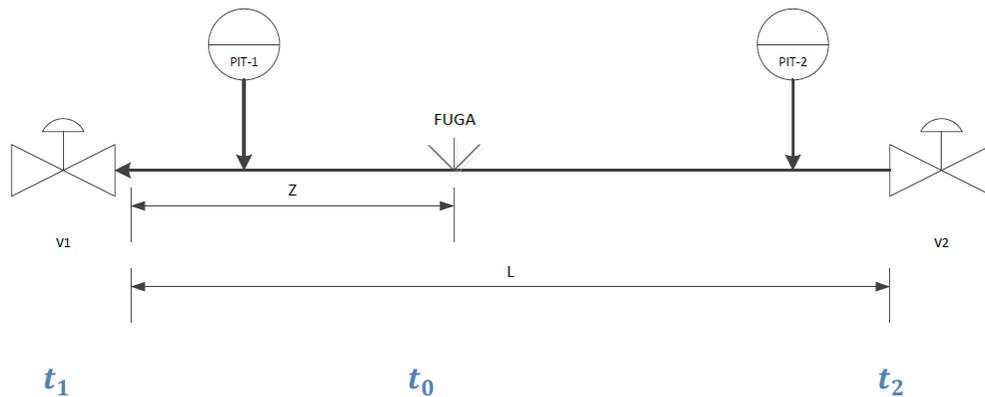


Figura 1. Diagrama de tiempos en un segmento.

Fuente: Calderón J. 2012, (Pág. 13)

- L : la longitud total del ducto entre los sensores 1 y 2.
- z : la distancia del sensor 1 al punto de fuga.
- t_0 el tiempo de inicio de fuga (desconocido).
- t_1 y t_2 los tiempos de inicio del cambio de presión en los sensores 1 y 2 los cuales pueden obtenerse de los registros de presión en los sensores.
- V la velocidad de propagación de la onda de presión (igual a la velocidad del sonido en el medio).

La velocidad promedio durante un intervalo de tiempo es igual al desplazamiento por unidad de tiempo. (Serway y Jewett, 2017, p 21).

Partiendo de este concepto se puede deducir el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$z = v x (t_1 - t_0) \text{ y } L - z = v x (t_2 - t_0) \quad \dots\dots (1)$$

Despejando y reemplazando.

$$z = \frac{L + v x (t_1 - t_2)}{2} \quad \dots\dots (2)$$

2.2.7. Velocidad de propagación de la onda de presión en un gas ideal.

Según Ortega M. (2006) en el libro Lecciones de mecánica, “La velocidad de propagación de una onda de presión está representada por la siguiente ecuación:” (Pag. 1104)

$$V = \sqrt{\gamma \frac{R.T}{M}} \quad \dots\dots (3)$$

V: Velocidad del sonido en el medio.

R: Constante de los gases ideales.

T: Temperatura absoluta.

M: Masa molar del gas natural.

γ : Coeficiente adiabático del gas natural.

2.2.8. Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como puede ser un ordenador. En el caso de los PLCs, los lenguajes de programación para los surgieron junto al mismo tiempo que la aparición del primer PLC, en 1968. Así se explica porque no se utilizaron para este fin lenguajes de programación de alto nivel como Pascal y C y, en su lugar, se emplearon otros lenguajes más simples y fáciles de entender, como podremos ver a continuación. (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.8).

Fue la tercera parte del estándar IEC 61131, el que consideró estos lenguajes para la programación de los PLCs. Este estándar se ha designado como IEC 61131-3 aunque solía ser designado como IEC 1131, antes de que el sistema de numeración cambiase por la comisión internacional electrotécnica. De este modo se definieron los siguientes cinco lenguajes: (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.8).

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC) – un lenguaje de bloques de funciones secuenciales;
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) – un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales;
- Diagramas de Tipo Escalera (LAD) – un lenguaje de diagramas de relés (denominado de tipo escalera);
- Texto Estructurado (ST) – un lenguaje de alto nivel como el del tipo de texto estructurado (similar a C y, sobre todo a Pascal);
- Lista de instrucciones (IL o STL) – lenguaje de tipo ensamblador con uso de acumuladores.

2.2.9. Diagrama de bloques de funciones (FBD)

Este segundo lenguaje de programación es también de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente, tanto expresiones como en lógica booleana. FBD proviene del campo del procesamiento de la señal y su utilización es conveniente cuando no hay ciclos pero existen, sin embargo, varias ramas en el programa a crear. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite resumir funciones básicas en bloques de modo que el usuario solo se preocupa por una programación funcional de su rutina. De este modo, es ideal para usuarios que no tengan habilidades avanzadas en programación y para aquellos procesos de baja complejidad (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.10).

“Actualmente es un lenguaje muy popular y muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa” (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.10).

“A continuación, puede observarse un esquema con un extracto de un programa construido utilizando este lenguaje de programación” (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.11).

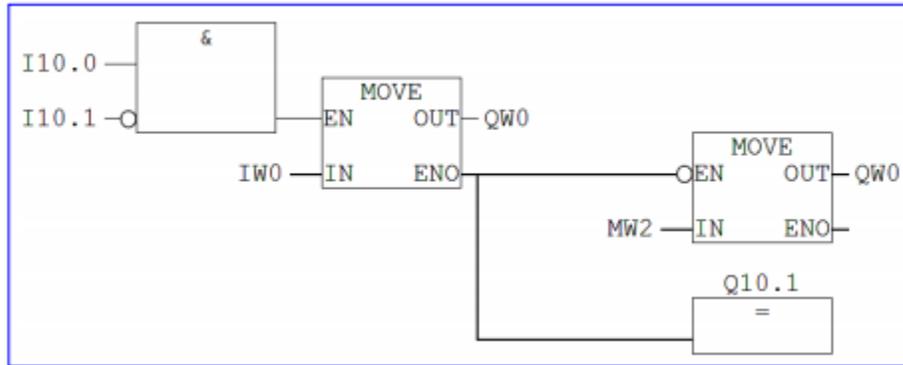


Figura 2. Esquema con Lenguaje FBD.

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011, p.11

2.2.10. Simulador PLC con Diagrama de bloques funcionales

- **UnityPro**

Unity es el entorno software/hardware de Schneider Electric para la gestión de sus plataformas de automatización. Dentro de Unity, la herramienta gráfica UnityPro es la que se utiliza para el desarrollo, explotación y mantenimiento de aplicaciones para los PLCs. Esto es, UnityPro es una herramienta “todo en uno” que permite se puede configurar, programar, simular, depurar y monitorizar un PLC. Además, es posible hacer todo ello de una forma bastante independiente del hardware del PLC, después de haber realizado una configuración inicial (Candelas,2011, p.3)

“Los lenguajes que permite utilizar UnityPro son los definidos en la norma IEC 61131, en este caso tenemos el lenguaje FBD (Function Block Diagram) - Diagrama de bloques funcionales”. (Candelas,2011, p.3)

2.3. Definición de términos básicos.

- **Proceso:** Define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. (Ogata K, 2010, p 3)
- **Transmisor:** Según Creus A. (2011), capta la variable de proceso a través del elemento primario y la transmite a distancia en forma de señal neumática de margen 3 a 15 psi o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua o digital. (Pág. 63)
- **Actuador:** Vildósola E. (s.f.). “Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. Una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas” (párr. 1).
- **Presión:** Según Jiménez J. (2014). “Los gases ejercen presión sobre cualquier superficie con la que entran en contacto, ya que sus moléculas están en constante movimiento. Ésta, la presión, se define como una fuerza aplicada por unidad de área; fuerza dividida por el área sobre la que se distribuye $P = F/S$. La unidad de presión es el pascal (Pa), que se define como la presión de un newton por metro cuadrado, por lo que $Pa = N / m^2$.” (Pág. 7)

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Material.

- Tesis, trabajos de investigación, papers, revistas tecnológicas, etc. referente a sistemas de control para distribución de gas natural y sistemas de detección de fugas.
- Graficas de tendencias que permitan conocer el comportamiento de la presión y temperatura.
- Resultados de simulación.

3.1.1. Población y muestra.

Simulación del comportamiento de la presión en un ducto.

3.1.2. Unidad de análisis.

Variación de presión.

3.2. Método.

3.2.1. Nivel de Investigación.

Por el propósito:

- Aplicada.

3.2.2. Diseño de investigación.

Diseño de campo, porque se recolecta información de las variables presión y temperatura; se modela el sistema propuesto y se simula la operación del sistema de seguridad.

Para su desarrollo se realizaron los siguientes procedimientos:

- Existen dos métodos principales para la detección de una fuga: El método de la onda negativa de presión y el método de balance de masas. Debido a que Contugas cuenta

con un sistema implementado de supervisión de temperatura y presión, se eligió el método el método de la onda negativa de presión por ser el más adecuado para evitar costos adicionales de la investigación y de una posible implementación.

- Se recolectaron los datos históricos del sistema de Contugas para observar el comportamiento de las variables de presión y temperatura con la finalidad de poder realizar la simulación con datos muy parecidos a la realidad.
- Se desarrolló una filosofía de control que describe el comportamiento de la lógica de control implementada a partir de las necesidades de la empresa CONTUGAS.
- Se desarrolló la lógica de seguridad en una PC para ser simulada con valores de operación ficticios.
- Mediante UnityPro se simularon las ecuaciones que gobernarán el sistema de seguridad para la detección de fugas y se realizó una tabla con los valores obtenidos.
- Se realizaron pruebas de simulación necesarias con distintos puntos de fuga para validar el funcionamiento del sistema de seguridad.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización.

Variable Dependiente

Control de válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural.

Variable Independiente

Estudio de los niveles de presión interna en los ductos.

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumento
Estudio de la velocidad de propagación de la onda de presión.	Los niveles de presión interna se refieren a valores de operación mínimos y máximos de la fuerza que ejerce el gas natural en las paredes del ducto.	De acuerdo a los niveles mínimos y máximos de la variable en cuestión se determinará si cumple las condiciones para que se produzca un cambio en la planta.	Temperatura absoluta del medio.	Registro histórico de temperatura en la base de datos. (ANEXO 1)
			Variaciones de presión máximas y mínimas.	Registro histórico de presiones en la base de datos. (ANEXO 1).
			Masa molar.	Fuente bibliográfica sobre la composición del gas natural.

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente

Fuente : Elaboración propia

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumento
Control de válvulas de cierre de emergencia en la etapa de transporte de gas natural.	Un sistema de seguridad está conformado por uno o más procesos que se interrelacionan con un fin, el de la integridad de la válvula y de los operarios.	Mediante la lectura de los instrumentos de campo, se realiza el proceso de supervisión de las variables asociadas al proceso; el control se realiza mediante actuadores, cuando sea menester realizar alguna acción correctiva para el funcionamiento de las variables de proceso de acuerdo a los parámetros establecidos.	Variación máxima de presión.	Graficas de tendencia de presión.
			Limit switch de actuadores.	Entrada digital del controlador.

Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.2.4.1. Observación de campo no experimental.

Para conocer el comportamiento de las variables involucradas en la investigación se recolectaron datos de presión y temperatura de tres meses.

Los datos se obtuvieron a través del registro de tendencias del sistema de control de Contugas ubicado en la Rambla, San Borja - Lima. Esta información permitió supervisar y determinar las condiciones normales de operación de las variables de presión y temperatura. (VER ANEXO 01)

3.2.4.2. Análisis Documental

3.2.4.2.1. Resumen de características técnicas del transmisor de presión IGP10

El modelo IGP10 de Foxboro es un transmisor de dos hilos que proporciona medidas precisas y confiables de presión, y proporciona señales de salida digital o analógicas para el monitoreo y control. La carcasa de aluminio tiene un acabado epóxico duradero y resistente a la corrosión; cumple con las clasificaciones NEMA 4X e IP66. El transmisor es hermético e impermeable y tiene una protección de sobrepresión intrínseca.

Span Limit Code	Span Limits Bar	Range Limits Bar
K	175 y 525	0 y 525

Tabla 3: Span y rango de transmisor de presión.

Fuente: Foxboro (2015)

Span Limit Code	Máxima sobrepresión Bar
K	775

Tabla 4: Máxima sobrepresión del transmisor de presión.

Fuente: Foxboro (2015)

Parámetro	FoxComm	HART
FUERA DE LÍNEA	Configurable por el usuario entre 4 y 20 mA.	
FALLA DE SENSOR	Configurable por el usuario para falla inferior o falla superior.	
ALARMA DE FALLA INFERIOR	3.6 mA	3.6 mA
BAJO RANGO	3.75 mA	3.8 mA
SOBRERANGO	21 mA	20.5 mA
ALARMA DE FALLA SUPERIOR	22 mA	21 mA

Tabla 5: Datasheet IGP10.

Fuente: Foxboro (2015)

3.2.4.2.2. Resumen de características técnicas de transmisor de temperatura RTT15

El transmisor de temperatura RTT15 es un transmisor de temperatura que cuenta con un microprocesador que recibe señales de entrada de termocuplas, RTDs, resistencias o fuentes de milivoltios. Está disponible con Foundation Fieldbus, PROFIBUS o protocolo de comunicaciones HART. Está disponible en su versión a prueba de agua y a prueba de explosión.

Tipo de RTD	Span Limits	Range Limits
	°C	°C
Platinum, 100 ohm	10 y 1050	-200 y 850

Tabla 6: Span y rango de RTT15

Fuente: Foxboro (2015)

3.2.4.2.3. Resumen de características técnicas del ePAC M580

Alimentación interna vía rack 24Vdc, conexión integrada tipo USB mini B, 1 Ethernet TCP/IP Service Port y 2 Ethernet TCP/IP Device Network. Memoria flash de 4GB expandible, memoria RAM de sistema 10kB, memoria RAM de programa 16MB y memoria RAM de datos 2048kB.

Temperatura de operación de 0 a 60 °C, IP20 y humedad relativa 5...95% 55°C.

3.2.4.3. Entrevista al supervisor de SCADA y comunicaciones: Christian Vadillo Vidal.

La información proporcionada permitió conocer las características del ducto y la lógica de funcionamiento del sistema. Así mismo ayudó a elegir un segmento del ducto para ser evaluado, a determinar las características del medio físico y a la elaboración de la filosofía de control. (*VER ANEXO 02*)

3.2.4.3.1. Elaboración de tabla sobre los datos obtenidos en la entrevista

Se elaboraron distintas preguntas al entrevistado y se elaboró una tabla con la información proporcionada.

Datos de la entrevista	
Diámetro de la tubería	508 mm
Densidad del gas natural	11.13 mm
Umbral de fuga	3 bar
Longitud del gasoducto	200 km

Tabla 7: Datos de la entrevista con Christian Vadillo.

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.4. Elaboración de un cuestionario para definir el comportamiento de las ondas de presión y la composición del gas natural.

El cuestionario se elaboró con la finalidad de obtener los valores teóricos necesarios para poder simular las ecuaciones en la lógica debido a que nuestro entrevistado nos indicó que no contaban con dicha información. (VER ANEXO 3)

3.2.4.5. Interfaz de los sitios a evaluar VLHM021 y VDHMIC044.

Se capturaron las pantallas de la interfaz hombre-máquina de los sitios a evaluar con la finalidad de obtener una referencia de las ubicaciones lógicas.

La figura 3 muestra la distribución lógica de los equipos en el sitio VDHMIC044 en el que se consideraron para el análisis los instrumentos PI-3103, TI-3101 y PI-3101.

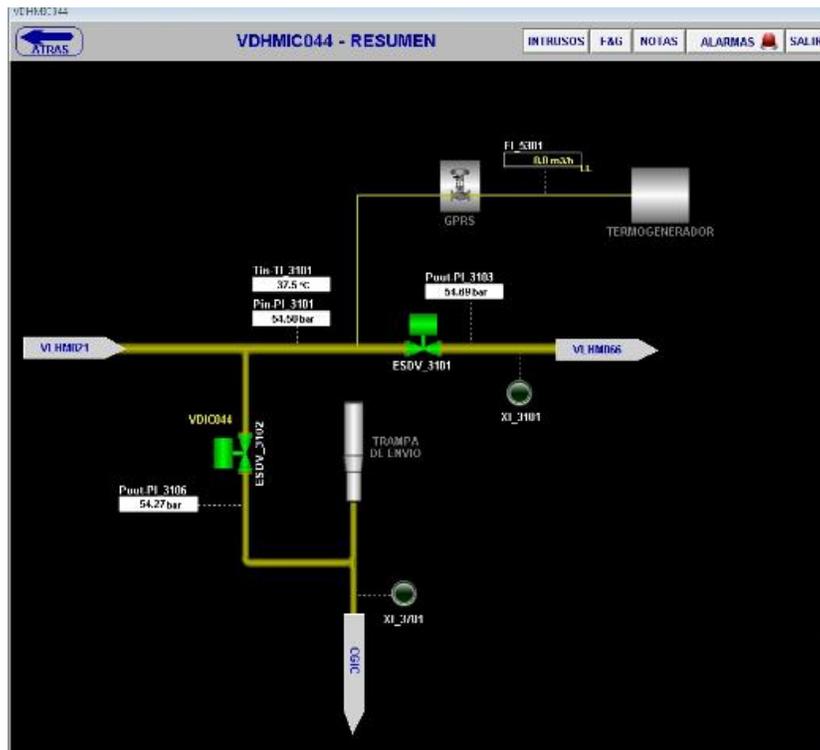


Figura 3. HMI de la válvula VDHMIC044 (VI).

Fuente: SCADA Contugas

La figura 4 muestra la distribución lógica de los equipos en el sitio VLHM021 en el que se consideraron para el análisis los instrumentos PI-3103, TI-3101 y PI-3101.



Figura 4. HMI de la válvula VLHM021
Fuente: SCADA Contugas

3.2.5. Técnicas de procesamiento de datos.

3.2.5.1. Elaboración de gráficas de las variables involucradas en el proceso: presión vs tiempo y temperatura vs tiempo.

De acuerdo a las tablas que se plasmaron en el Excel, se elaboraron gráficas con los valores de las variables de presión y temperatura para determinar sus comportamientos en condiciones normales de operación, así como sus valores máximos y mínimos.

La figura 5 muestra el comportamiento de la presión registrado durante 3 meses obteniendo valores máximos y mínimos de 57.73 bar y 52.17 bar respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

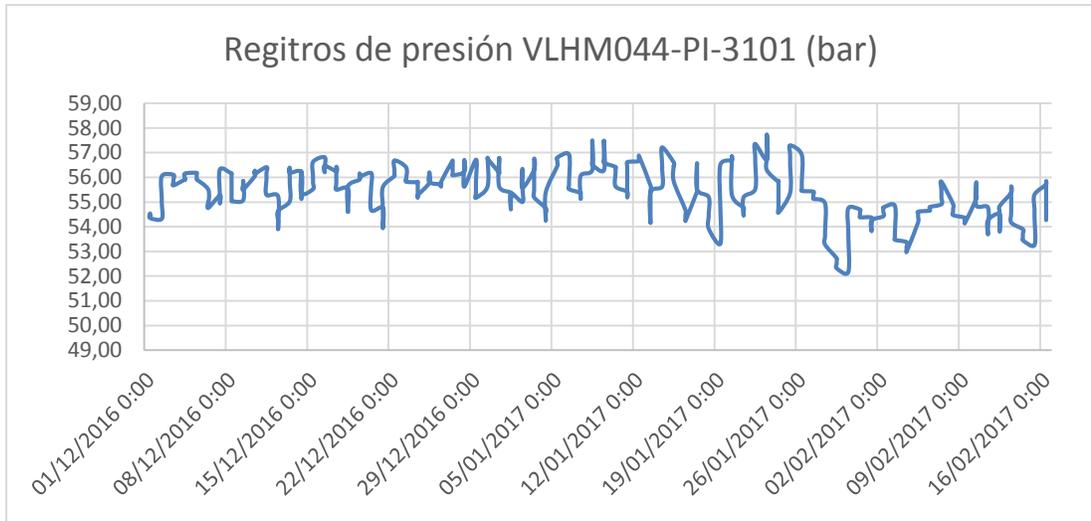


Figura 5. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM044-PI-3101.

Fuente: Elaboración propia

La figura 6 muestra el comportamiento de la presión registrado durante 3 meses; los valores registrados son iguales a los datos registrados en la figura 5 pues ambos transmisores están separados por una distancia aproximada de 20 metros. Los valores máximos y mínimos obtenidos son 57.73 bar y 52.17 bar respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

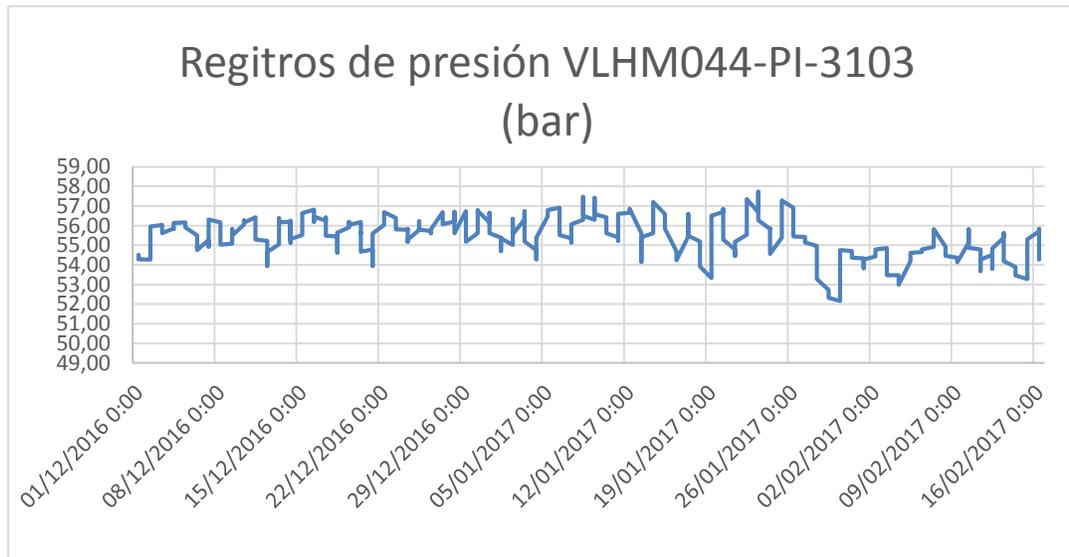


Figura 6. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM044-PI-3103.

Fuente: Elaboración propia

La figura 7 muestra el comportamiento de la temperatura registrado durante 3 meses. Los valores máximos y mínimos obtenidos son 39.6 °C y 18 °C respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

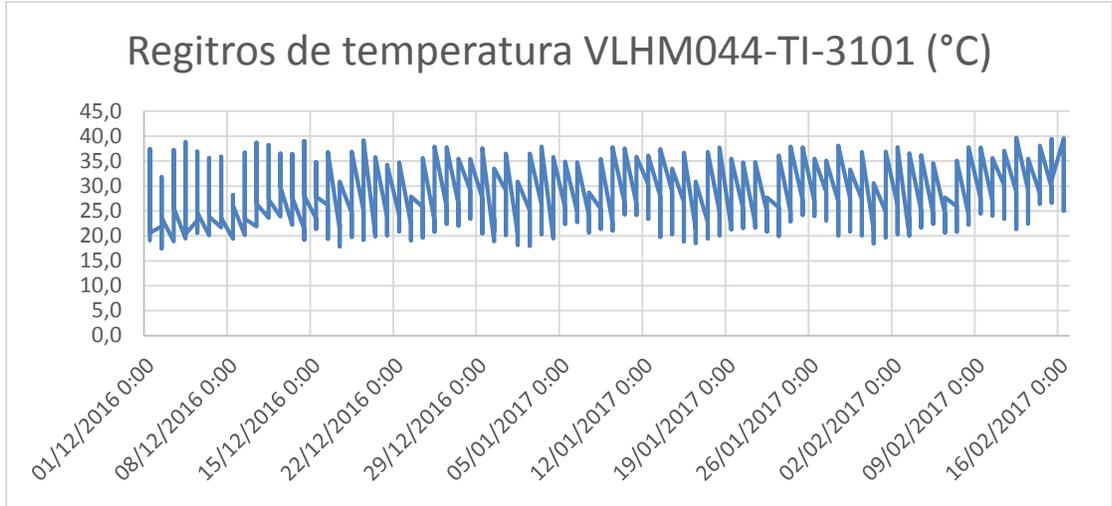


Figura 7. Gráfica de registros de temperatura del transmisor VLHM044-TI-3101.

Figura: Elaboración propia

La figura 8 muestra el comportamiento de la presión registrado durante 3 meses obteniendo valores máximos y mínimos de 57.79 bar y 52.22 bar respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

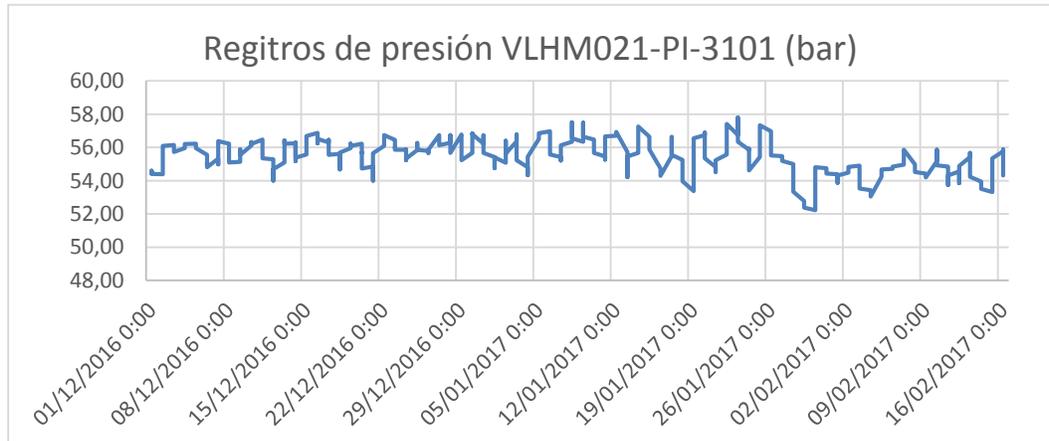


Figura 8. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM021-PI-3101.

Fuente: Elaboración propia

La figura 9 muestra el comportamiento de la presión registrado durante 3 meses; los valores registrados son iguales a los datos registrados en la figura 5 pues ambos transmisores están separados por una distancia aproximada de 20 metros. Los valores máximos y mínimos obtenidos son 57.79 bar y 52.22 bar respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

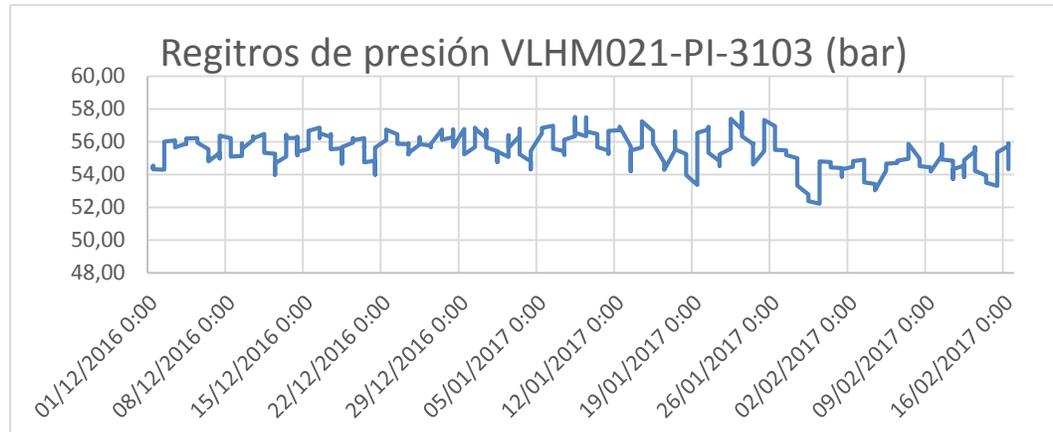


Figura 9. Gráfica de registros de presión del transmisor VLHM021-PI-3103.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 10 muestra el comportamiento de la temperatura registrado durante 3 meses. Los valores máximos y mínimos obtenidos son 42.9 °C y 21.5 °C respectivamente. Estos datos, nos dan una referencia para poder realizar la simulación con datos bastante aproximados a la realidad.

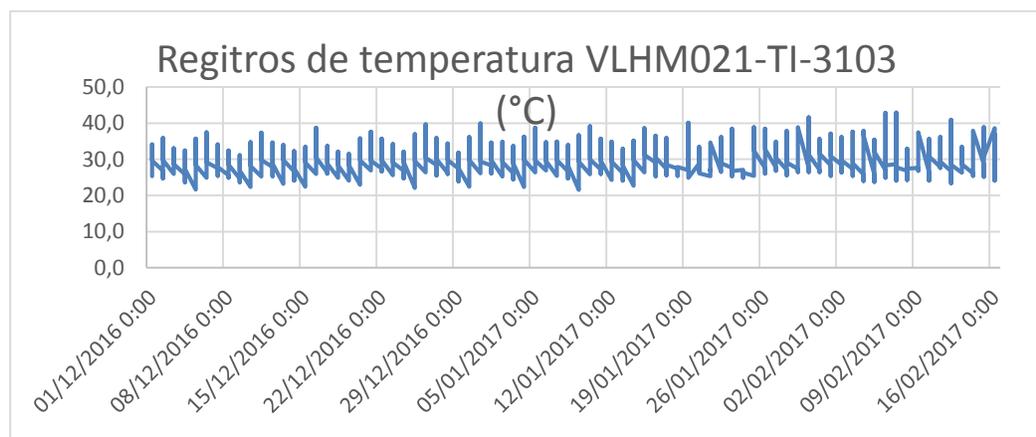


Figura 10. Gráfica de registros de temperatura del transmisor VLHM021-TI-3101.

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.2. Filosofía de control.

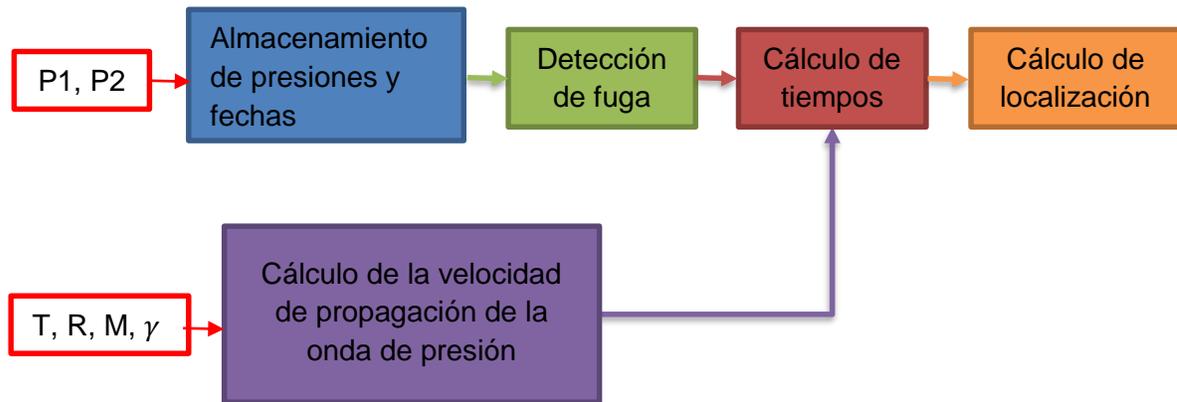


Figura 11. Filosofía de control en bloques.

Fuente: Elaboración propia

Los transmisores de presión se muestrean en el controlador simulado con un periodo de 8ms y se almacenan en un arreglo conformado por 240 registros. Cuando en los registros se detecta una variación de presión mayor a 3.5 bar, un conjunto de bloques lógicos arroja el tiempo que tarda en recorrer la onda de presión desde el origen de la fuga hacia el transmisor para que finalmente la velocidad de propagación nos permite realizar el cálculo de la ubicación de la fuga en conjunto con los tiempos de retardo.

- **Almacenamiento de registros de presiones y fechas.**

Las fechas y presiones se almacenan en arreglos de variables con la ayuda de un contador descendente que va ubicando los valores registrados en las posiciones indicadas por el valor de la cuenta.

La frecuencia con la que se almacenan las variables está indicada por un tren de pulsos denominado “fbk” cuyo periodo se indicó en el párrafo anterior. Debido a que sólo es una simulación en una PC, no se puede saber con exactitud cuánto

tarda el ciclo de ejecución del PLC “real”. Para este caso es un valor ajustable que puede ser modificado de acuerdo al tiempo real de ejecución del programa.

La lógica del algoritmo empieza a operar cuando el último valor del arreglo de variables es diferente de cero tanto para presiones como para fechas.

- **Cálculo de la velocidad de la onda de presión.**

El cálculo de la velocidad de propagación de una onda de presión se realiza con los parámetros de temperatura, masa molar, el coeficiente adiabático y la constante de gases ideales.

La temperatura se calcula con el promedio de los transmisores ubicados a los extremos del segmento ya que solo tenemos dos puntos de medición por segmento. Debido a que no tenemos los datos reales del coeficiente adiabático y la masa molar, se tomaron valores teóricos.

- **Detección de fuga.**

Luego, se implementó un buscador de presiones que lanza una alarma de fuga cuando encuentra una presión mayor a 3 bares con respecto a la presión actual y así mismo detiene su búsqueda cuando ha encontrado la ubicación de la presión en el arreglo de variables. La búsqueda se realiza desde la presión más actual hasta la más antigua, en ese orden. La rapidez de la búsqueda depende del periodo de la variable “fbk”.

- **Cálculo del tiempo que tarda la onda de presión en llegar a los extremos del segmento.**

Cuando existe una detección de fuga en cualquiera de los dos transmisores del segmento, se almacena la fecha de fuga en una variable para luego ser contrastada realizando una diferencia con las fechas que el buscador de presiones encuentre en ambos transmisores.

- **Cálculo de la localización.**

Los tiempos obtenidos en la comparación anterior se procesan en conjunto con la velocidad y la longitud del segmento para dar como resultado la ubicación exacta de la fuga.

En el *ANEXO 4* describen la lógica de los bloques mencionados en el párrafo anterior.

3.2.5.3. Técnicas de análisis de datos.

- Se detalla cada parámetro de ingreso al bloque FBD Procesamiento:

Parámetro	Descripción
AnalogInput1	Variable que representa al transmisor de presión PIT-1 de la figura 1 o al VLHM021-PIT-3103 del <i>ANEXO 3</i> . Su valor inicial depende del valor que elija el usuario.
AnalogInput2	Variable que representa al transmisor de presión PIT-2 de la figura 1 o al VDICM044-PIT-3101 del <i>ANEXO 1</i> . Su valor inicial depende del valor que elija el usuario.
AckN	Variable que borra la activación de una alarma de fuga a la salida. Su valor inicial es 0.
L	Longitud del segmento. Se asumirá una distancia aproximada de 20Km para la simulación.
CLK	Es lo que tarda el programa en almacenar un nuevo valor de presión o tiempo. Su valor inicial es de 8ms.
Coefficiente_adyabático	Es el cociente entre el poder calorífico a presión constante y el poder calorífico a volumen constante del gas natural. Ambos valores son teóricos. $\gamma = \frac{8,57}{6,56} \text{ cal/mol.}^{\circ}\text{C}$

Cte_de_gases_ideales	Constante física que relaciona entre sí diversas funciones de estado termodinámicas (energía, temperatura y cantidad de materia). $\gamma = 8314,472 \frac{gm^2}{mol.Ks^2}$
T1_absoluta.	En esta investigación se tomaron como constantes; sin embargo, al contar con transmisores de temperatura en campo se puede implementar la temperatura variable en la lógica. Su valor inicial depende del valor que elija el usuario
T2_absoluta.	
Masa_Molar	Debido a que el gas natural está compuesto principalmente por etano y metano, sólo consideraremos esos dos compuestos para calcular su masa molar aproximada. Asumiremos 90% de etano y 10% de metano. $M = 17.443 \frac{g}{mol}$

Tabla 8. Parámetro de ingreso al bloque FBD Procesamiento

Fuente: Elaboración propia.

- Detalle de Parámetros de salida del bloque FBD Procesamiento:

Parámetro	Descripción
AlrmFuga	Si se cumplen ciertas condiciones, se activa la alarm de fuga
Z	Localización de la fuga en un segmento.
Funcionando	Cuando se ha almacenado todos los valores históricos de presión y tiempo, cambia su valor a 1. Por otro lado, cuando se reconocen las alarmas, su estado cambia a cero hasta que se normalicen los valores.
Velocidad_Propagación	Velocidad de propagación de la onda de presión

Tabla 9. Parámetros de salida del bloque FBD Procesamiento

Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS.

- La investigación documental permitió recopilar toda la información referente al tema de transporte de gas natural, permitiendo conocer los procesos y sus variables:

Procesos de Transporte de Gas Natural:

Gasoductos

Es una forma más común de comercialización en el estado gaseoso para el transporte de Gas Natural. Los gasoductos pueden unir grandes distancias y suelen tener una red de ductos que se interconectan al ducto principal con el fin de abastecer a las poblaciones cercanas a la trayectoria del mismo.

En el sistema de transporte de GN a través de gasoductos, el diseño a largas distancias se deben considerar varios factores críticos como el tipo de terreno recorrido, distancias entre los extremos del gasoducto, cantidad de gas transportado y condiciones operativas.

Gasoductos Virtuales

Hay dos opciones de hacer uso de este transporte:

Gas Natural Comprimido (GNC): El Gas Natural es comprimido a grandes presiones, logrando que su volumen se reduzca en 100 veces. Llegado a su destino, el GNC es descomprimido para el uso en plantas industriales o comercialización en estaciones de Gas Natural Vehicular.

Gas Natural Licuefactado (GNL): Este sistema de transporte es aplicado en los buques metaneros, ya que el GN es sometido a bajas temperaturas de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, convirtiéndolo en líquido (GNL) y reduciendo en 600 veces su volumen, debido a la reducción permite un mayor transporte a puntos distantes.

VARIABLES DEL TRANSPORTE DE GAS NATURAL:

Para el transporte en un gasoducto se toman varias medidas de seguridad ya que estos están expuestos a diferentes fenómenos naturales, se lograron detectar diferentes variables en el transporte de Gas Natural:

- La presión
 - El flujo
 - Temperatura
 - Intrusión
 - Fuentes de ignición.
-
- Debido a que se cuenta con el método de detección de fugas por variación de presión, se determinó que nuestra variable crítica a trabajar sería la presión. Por otro lado, debido a que el cálculo de la velocidad de la onda de presión depende de las variaciones de temperatura, nuestra segunda variable a evaluar fue la temperatura.

 - Elaboración de la filosofía:
 - Se elaboró una filosofía conformada por cinco etapas lógicas: Almacenamiento de presiones y fechas, Detección de fuga, Cálculo de tiempos, Cálculo de localización y Velocidad de propagación de la onda de presión.
 - Se realizó la lógica en base a datos históricos almacenados en arreglos de variables tipo real de un tamaño de 240 con un muestreo de 8ms.
 - Se logró, en base a la simulación, detectar fugas cuando existe una variación de presión de 3.5 bar.
 - Se logró calcular el tiempo que tarda en recorrer la onda de presión desde el punto de fuga hacia los extremos del segmento en base a un tiempo de referencia y con los datos históricos de tiempos almacenados en los arreglos de variables.
 - Se logró calcular la velocidad de propagación de la onda de presión en base a la formula (3).

Se logró calcular la ubicación de la fuga según el método de onda de presión negativa.

- La simulación consistió en realizar variaciones de presión de tal manera que el programa interprete que existe una fuga.

Según lo explicado con respecto a las variables y constantes de ingreso al bloque de procesamiento, se procedió a realizar la simulación en el software UnityPro XL.

Parámetro de entrada	Valor inicial
AnalogInput1	55.45
AnalogInput2	55.39
T1_Absoluta	302.55
T2_Absoluta	3000.35
AckN	0
Coficiente_adyabático	1.3064
Masa_Molar	17.443
Cte_de_gases_ideales	8314.472

Tabla 10. Simulación con valores iniciales de entrada.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro de salida	Valor inicial
AlrmFuga	0
Funcionando	1
Velocidad_Propagación	433.2639
Z	0

Tabla 11. Simulación con valores iniciales de salida.

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 10 y 11 se muestra el ingreso de los parámetros finales para el bloque procesamiento y así mismo, los valores de salida finales.

Parámetro de entrada	Valor Final
AnalogInput1	51.43
AnalogInput2	51.42
T1_Absoluta	302.55
T2_Absoluta	300.35
AckN	0
Coficiente_adyabático	1.3064
Masa_Molar	17.443
Cte_de_gases_ideales	8314.472

Tabla 12. Simulación con valores finales de entrada

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro de salida	Valor Final
AlrmFuga	1
Funcionando	1
Velocidad_Propagación	433.2639
Z	5308.186

Tabla 13. Simulación con valores finales de salida

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 12 y 13 se realizó una disminución de presión en rampa con un retardo de 34 segundos en el parámetro analoginput2 y disminución de presión en rampa mayor a 3.5 bar con un retardo de 10 segundos en el parámetro AnalogInput1. Como consecuencia a estas modificaciones se detectó una fuga en el punto 5308.186 m del segmento.

En una segunda simulación, con los mismos parámetros iniciales de las tablas 10 y 11, se realizó una variación de presión con un retardo de en los parámetros analoginput1 y analoginput2.

Parámetro de entrada	Valor Final
AnalogInput1	51
AnalogInput2	51
T1_Absoluta	302.55
T2_Absoluta	300.35
AckN	0
Coefficiente_adyabático	1.3064
Masa_Molar	17.443
Cte_de_gases_ideales	8314.472

Tabla 14. Simulación con valores finales de entrada

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro de salida	Valor Final
AlrmFuga	1
Funcionando	1
Velocidad_Propagación	433.2639
Z	10511.25

Tabla 15. Simulación con valores finales de salida

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 14 y 15 se pueden apreciar los resultados de una simulación de fuga de una rampa de 20.75 segundos y 18.39 segundos en ambos parámetros de entrada (analoginput1 y analoginput2) respectivamente.

Con la simulación del algoritmo, se logró detectar fugas que prueban la funcionalidad del sistema de acuerdo a las tablas 13 y 15.

- Después de haber realizado el estudio y las simulaciones, se elaboró una lista de equipos y materiales que servirán para una posible implementación futura de acuerdo a los precios del mercado del presente año con la salvación de que no se están considerando los costos de transporte y aduanas.

Para revisar más a detalles tenemos datos de Marca, Modelo de los equipos y materiales.

(VER ANEXO 5)

DESCRIPCION	PRECIO REFERENCIAL
PAC MODICON M580	
Backplane de 04 slots	150
Módulo Fuente de alimentación de 100-240vac	300
Procesador CPU Modicon M580	5000
Tapas para modulos no ocupados	50
BACKPLANE DE EXTENSIÓN 1	
Backplane de 08 slots	210
Fuente de alimentación 120Vac, 60Hz	500
Módulo de comunicación RIO drop	1400
Módulo de 8 entradas analógicas tipo 4-20ma + Hart	1000
Módulo de 16 entradas digitales 120 Vac	300
Módulo de 16 salidas digitales tipo relé 2A 120 Vac	210
Terminal block	25
Tapas para módulos no ocupados	100
BACKPLANE DE EXTENSIÓN 2	
Backplane de 08 slots	210
Módulo de 16 entradas digitales 120 Vac	300
Módulo de 16 salidas digitales tipo relé 2A 120 Vac	210
Fuente de alimentación 120Vac, 60Hz	500
Módulo de comunicación RIO drop	1400
Módulo de 8 entradas analógicas tipo 4-20ma + Hart	1000
Terminal block	25
FUSIBLES, BORNERAS Y BREAKERS	
Fusible cilíndrico de 0.5 A	12
Porta fusible de 1P	6
Borneras tipo tornillo de 3 pisos con fusible	765
Fusible para bornera	-
Borneras tipo tornillo de 2 pisos con fusible	425
Fusible para bornera	-

Borneras tipo tornillo de 1 piso con fusible	60
Fusible para bornera	-
Borneras tipo tornillo de 2 pisos pasante	5
Borneras tipo tornillo de 1 piso pasante	36
Borneras tipo tornillo tierra de protección	40
Tope para borneras	90
Riel din simétrico 35mm de alto	21
Interruptor termomagnético principal AC 2P de 25A	20
Interruptor termomagnético AC 1P de 16A	30
Interruptor termomagnético AC 1P de 2A	60
Interruptor termomagnético AC 1P de 1A	60
Interruptor termomagnético DC 1P de 3A	20
Interruptor termomagnético DC 1P de 5A	20
GABINETE	
Montantes verticales 2000 mm	200
Techo + base inferior de 1000x600 mm	650
Techo para entrada de cables 1000x600 mm	20
Puerta de 2000x1000	350
Inserto con llave para manija estándar	25
Panel posterior 2000x1000	200
Paneles laterales 2000x600	215
Placa de montaje	280
Tapa inferior entrada de cables 1000x600	100
Zocalo: frontal y posterior 1000x200	200
Zócalo: laterales 600x200	40
Cáncamos para el izaje (4 unidades)	20
Ángulos de elevación M12 (Jgo de 4 piezas)	25
Kit de unión	25
Portaplanos de PVC, D40	6
Lámpara 120vac	120
Interruptor puerta 10ª	25
Ventilador 120Vac	300
Termostato electrónico 120vac	300
ACCESORIOS ADICIONALES	
Regleta de tierra con zócalo aislante	15
Canaleta ranurada 80x80 mm longitud 2m	-
Canaleta ranurada 100x80 mm longitud 2m	-
Placa terminal para borneras de 1 piso	-
Placa terminal para borneras de 2 pisos	-
Peine monofásico de 12 polos	-
Puente de unión para 2 polos	-
Puente de unión para 3 polos	-
Puente de unión para 4 polos	-

Puente de unión para 5 polos	-
Puente de unión para 10 polos	-
Puente de unión para 20 polos	-
CONSUMIBLES GENERALES	
Marcadores para borneras del 1 al 10	20
Marcadores para borneras del 11 al 20	10
Marcadores para borneras en blanco	60
Etiqueta de marcador de cables - WML 5 (25X10)R	320
Cinta entintada - THERMOMARK-RIBBON 110	134
2 rollos de 100m 14 AWG - Cables de alimentación rojo	60
2 rollos de 100m 14 AWG- Cables de alimentación negro	60
1 rollo de 100m 18 AWG - Policables 16 hilos de control azul	1500
1 rollo de 100m 16 AWG - Cables de tierra verde/amarillo	30
2 cientos de terminales tubulares azul para cables de control 18 AWG	-
2 cientos de terminales tubulares negro para cables de alimentación 14 AWG	-
2 cientos de terminales tubulares rojo para cables de alimentación 14 AWG	-
1/2 millar de terminales tipo uña amarillo para cables de alimentación 14 AWG	-
1 Lamicoide (identif de gabinetes)	-
1 bolsa de 20 Galletas de 2x2	-
10 bolsas de 100 Cintillos de 20cm	-
10 bolsas Espirales plástico de 9mm	-
PRECIO REFERENCIAL TOTAL EN USD	19870

Tabla 16. Materiales y costos de equipos.

Fuente: Elaboración Propia

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En los sistemas de transporte de gas natural existen distintos factores que pueden afectar la integridad del ducto. En esta investigación no se abordaron todos los temas pues se realizó un análisis delimitado a la evaluación de dos variables (presión y temperatura).
- Debido a que se realiza la actualización de la toma de valores de presión cada 8 ms en un arreglo de 240 variables, el tiempo que tarda inicialmente en llenar toda la información es bastante amplio lo cual genera un retraso cuando se ejecuta el programa por primera vez.
- Las fugas no fueron reales, fueron simuladas.
- El cálculo de la velocidad de la onda de presión se realizó usando valores teóricos y estimaciones como la masa molar y el coeficiente adiabático del gas natural.
- En el equipamiento no se incluyen el cable de instrumentación y tampoco costos de herramientas o materiales para el montaje.

6. CONCLUSIONES.

- Se logró estudiar satisfactoriamente el transporte de gas natural, el cual nos ayudó a dar el primer paso para encontrar las variables críticas del proceso, siendo de gran aporte para nuestro proyecto.
- De acuerdo al método de variación de presión y al cálculo de la velocidad de propagación de la onda se logró elegir a las variables críticas, presión y temperatura respectivamente.
- Se logró elaborar la filosofía de control en base a diagramas de bloques que describen funcionalmente las etapas del algoritmo simulado.
- Se logró ejecutar la simulación del algoritmo, permitiendo detectar fugas simuladas y la localización aproximada de ellas que prueban la funcionalidad del sistema.
- Los precios y el análisis financiero para el equipamiento propuesto son costos aproximados de acuerdo a los materiales requeridos. Tener presente que a mayor extensión incrementara el costo del proyecto.

7. RECOMENDACIONES

- En esta investigación se usaron datos teóricos en cuanto a las características del gas natural, se recomienda usar valores reales para tener una mayor exactitud en los cálculos realizados en el algoritmo.
- Para estudios posteriores se recomienda trabajar con mayor un numero de variables, esto ayuda a detectar la fuga de gas con una exactitud más concreta.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Caceres L. (2002). *El Gas Natural, Revisado por la Corporación Aceros Arequipa (3ª Ed)*. Lima: Grupo S.R.L.

Revista Sputnik (2009). *Russia remembers 1989 Ufa train disaster*.

Recuperado de: <https://sputniknews.com/russia/20090604155167464/>

Sociedad Nacional de Minería, petróleo y energía (2015). *Sistemas de transporte de gas natural*.

Recuperado de:

<https://www.cursosyeventosnmpe.org.pe/uploads/documentos//56e01c75727bd.pdf>

Ogata K. (2010), *Ingeniería de Control Moderno* (5ª ed.). Madrid: Prentice-Hall.

Serway R. & Jewett J. (2008), *Física para ciencias e ingeniería* (7ª ed.). México: Abril Vega Orozco.

Calderon J. (2012). *Método de detección y ubicación de fugas, en ductos de gran longitud, mediante velocidad de propagación de onda de presión negativa, en ductos con mediciones de presión multipunto*. (Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Automatización). Instituto tecnológico y de estudios superiores de monterrey, Monterrey.

Candelas F. (2011). *Introducción al software UnityPro y a los PLCs M340 de Schneider*.

Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18971/1/AA-pmanual.pdf>

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control. (2011). *PLC – Software y Lenguajes de Programación*.

Recuperado de :

http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_2.pdf

Ortega M. (2006). *Lecciones de mecánica* (9° ed.) Córdoba: Reprografía Don Folio.

Acedo J. (2006). *Instrumentación y control de avanzados procesos*. (2° Ed.) Barcelona: Edigrafos.

Ministerio de Energía y Minas (s.f). *Preguntas Frecuentes en Relación al Gas Natural en el Perú*.

Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/gasnatural.pdf>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2012). *Sistemas de transporte y distribución de gas natural*.

Recuperado de:

http://srvgart07.osinerg.gob.pe/WebDGN/Contenido/PAGINA%20WEB/folletos/Folleto8_sistemas_transporte_Gas_Natural_Peru.pdf

Gómez S. (2014). *Gas natural que se “escapa”*.

Recuperado de: <http://revistapetroleoygas.co/gas-natural-que-se-escapa/>

MOGAS Industries (2013). *Válvulas para las industrias de petróleo y gas*.

Recuperado de: <http://www.petrogreen.com.ar/wp-content/uploads/2015/11/V%C3%A1lvulas-para-petr%C3%B3leo-y-gas.pdf.pdf>

Creus A. (2011). *Instrumentación Industrial* (8va ed.). Barcelona: Marcombo.

Jiménez J. (2014) *Investigación de la presión en: solidos, líquidos y gases. Escuela de Adultos Sant Joan d'Alacant*.

Recuperado de: <https://santjoanges2.files.wordpress.com/2015/06/fisica-presion-en-los-cuerpos.pdf>

Vildósola E. (s.f.). *Actuadores*

Recuperado de: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

Revista Expansión (2011). *Una explosión en un gasoducto causa muertos y heridos en Colombia*.

Recuperado de: <http://expansion.mx/mundo/2011/12/23/una-explosion-en-un-gasoducto-causa-muertos-y-heridos-en-colombia>

Revista Expansión (2012). *Las dudas por las explosiones de Guadalajara siguen 20 años después.*

Recuperado de: <http://expansion.mx/nacional/2012/04/22/las-dudas-por-las-explosiones-de-guadalajara-continuan-20-anos-despues>

América Noticias (2015). *Cañete: Fuga de gas natural provocó un incendio en fábrica.*

Recuperado de : <http://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/canete-fuga-gas-provoco-incendio-fabrica-n208876>

Kane J. & Sternheim M. (2007), *Física* (2° Ed). Barcelona: Reverté.

Asociación de Fabricantes de Tubo de Acero. (s.f). *Sobrepresión por Golpe de Ariete.*

Recuperado de:

<http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-5-C%C3%A1lculos.pdf>

Alzate H. (2007). *Física de los Ondas*. (1era Ed). Medellín: Edu

Parra E. (2003), *Petróleo y Gas Natural: Industria, Mercados y Precios - I*. (1° Ed). Madrid:

AKAL

ANEXOS

ANEXO 01:

- **Registro de datos de presión y temperatura del ducto en el punto VLHM021 cada 6 horas.**

Fecha	VLHM021-PI-3101 (bar)	VLHM021-PI-3103 (bar)	VLHM021-TI-3101 (°C)
01/12/2016 00:00	54.53	54.45	25.3
01/12/2016 06:00	54.45	54.37	26.7
01/12/2016 12:00	54.60	54.54	34.1
01/12/2016 18:00	54.40	54.33	29.6
02/12/2016 00:00	54.38	54.31	26.8
02/12/2016 06:00	55.01	54.96	24.7
02/12/2016 12:00	55.20	55.14	35.9
02/12/2016 18:00	56.10	56.02	29.8
03/12/2016 00:00	56.15	56.09	25.9
03/12/2016 06:00	55.95	55.87	26.2
03/12/2016 12:00	55.86	55.78	33.1
03/12/2016 18:00	55.73	55.66	28.7
04/12/2016 00:00	55.96	55.90	25.8
04/12/2016 06:00	55.95	55.88	23.6
04/12/2016 12:00	56.00	55.95	32.4
04/12/2016 18:00	56.20	56.20	27.3
05/12/2016 00:00	56.23	56.23	21.6
05/12/2016 06:00	56.15	56.15	26.4
05/12/2016 12:00	55.97	55.97	35.7
05/12/2016 18:00	55.96	55.96	28.4
06/12/2016 00:00	55.55	55.55	24.9
06/12/2016 06:00	54.92	54.92	28.1
06/12/2016 12:00	55.05	55.05	37.5
06/12/2016 18:00	54.81	54.81	29.2
07/12/2016 00:00	55.33	55.33	27.5
07/12/2016 06:00	54.99	54.99	25.4
07/12/2016 12:00	55.29	55.29	34.1
07/12/2016 18:00	56.37	56.37	27.9
08/12/2016 00:00	56.22	56.22	25.6
08/12/2016 06:00	56.21	56.21	24.9
08/12/2016 12:00	55.10	55.10	32.4
08/12/2016 18:00	55.09	55.09	28.5
09/12/2016 00:00	55.13	55.13	24.7
09/12/2016 06:00	55.89	55.89	23.6
09/12/2016 12:00	55.77	55.77	31.1
09/12/2016 18:00	55.56	55.56	26.9

10/12/2016 00:00	56.11	56.11	22.3
10/12/2016 06:00	56.29	56.29	26.4
10/12/2016 12:00	56.32	56.32	34.7
10/12/2016 18:00	56.20	56.20	28.1
11/12/2016 00:00	56.48	56.48	25.2
11/12/2016 06:00	56.21	56.21	28.7
11/12/2016 12:00	55.97	55.97	37.4
11/12/2016 18:00	55.34	55.34	29.8
12/12/2016 00:00	55.28	55.28	27.9
12/12/2016 06:00	54.00	54.00	25.3
12/12/2016 12:00	54.28	54.28	34.6
12/12/2016 18:00	54.70	54.70	28.8
13/12/2016 00:00	55.10	55.10	23.2
13/12/2016 06:00	55.86	55.86	25.5
13/12/2016 12:00	56.42	56.42	33.9
13/12/2016 18:00	56.23	56.23	29.8
14/12/2016 00:00	56.25	56.25	26.6
14/12/2016 06:00	55.17	55.17	24.1
14/12/2016 12:00	56.30	56.30	32.3
14/12/2016 18:00	55.39	55.39	27.5
15/12/2016 00:00	55.57	55.57	22.4
15/12/2016 06:00	55.83	55.83	27.6
15/12/2016 12:00	56.10	56.10	33.4
15/12/2016 18:00	56.68	56.68	29.1
16/12/2016 00:00	56.87	56.87	25.9
16/12/2016 06:00	56.43	56.43	28.1
16/12/2016 12:00	56.25	56.25	38.7
16/12/2016 18:00	56.52	56.52	30.5
17/12/2016 00:00	56.31	56.31	26.4
17/12/2016 06:00	56.46	56.46	26.0
17/12/2016 12:00	55.83	55.83	33.7
17/12/2016 18:00	55.55	55.55	28.8
18/12/2016 00:00	55.61	55.61	24.9
18/12/2016 06:00	54.78	54.78	26.0
18/12/2016 12:00	54.68	54.68	32.1
18/12/2016 18:00	55.69	55.69	28.3
19/12/2016 00:00	55.96	55.96	24.1
19/12/2016 06:00	56.23	56.23	26.7
19/12/2016 12:00	56.11	56.11	31.5
19/12/2016 18:00	56.09	56.09	28.4
20/12/2016 00:00	56.23	56.23	22.9
20/12/2016 06:00	55.68	55.68	26.3
20/12/2016 12:00	55.70	55.70	35.8

20/12/2016 18:00	54.74	54.74	29.7
21/12/2016 00:00	54.84	54.84	26.9
21/12/2016 06:00	54.00	54.00	28.1
21/12/2016 12:00	54.81	54.81	37.6
21/12/2016 18:00	55.65	55.65	29.6
22/12/2016 00:00	56.10	56.10	27.4
22/12/2016 06:00	56.19	56.19	26.6
22/12/2016 12:00	56.33	56.33	35.7
22/12/2016 18:00	56.74	56.74	29.8
23/12/2016 00:00	56.45	56.45	25.6
23/12/2016 06:00	55.98	55.98	26.4
23/12/2016 12:00	55.99	55.99	34.2
23/12/2016 18:00	55.87	55.87	29.1
24/12/2016 00:00	55.86	55.86	26.8
24/12/2016 06:00	55.89	55.89	24.7
24/12/2016 12:00	55.23	55.23	32.1
24/12/2016 18:00	55.32	55.32	29.3
25/12/2016 00:00	55.84	55.84	22.1
25/12/2016 06:00	56.26	56.26	27.7
25/12/2016 12:00	56.24	56.24	36.9
25/12/2016 18:00	55.86	55.86	29.5
26/12/2016 00:00	55.78	55.78	26.4
26/12/2016 06:00	55.84	55.84	29.8
26/12/2016 12:00	55.68	55.68	39.7
26/12/2016 18:00	55.86	55.86	30.4
27/12/2016 00:00	56.74	56.74	28.4
27/12/2016 06:00	56.71	56.71	25.5
27/12/2016 12:00	56.23	56.23	35.9
27/12/2016 18:00	56.13	56.13	30.1
28/12/2016 00:00	56.28	56.28	26.2
28/12/2016 06:00	56.75	56.75	25.9
28/12/2016 12:00	56.55	56.55	34.4
28/12/2016 18:00	55.68	55.68	29.8
29/12/2016 00:00	56.78	56.78	27.4
29/12/2016 06:00	55.86	55.86	23.9
29/12/2016 12:00	55.42	55.42	31.8
29/12/2016 18:00	55.23	55.23	27.6
30/12/2016 00:00	55.68	55.68	22.4
30/12/2016 06:00	56.84	56.84	25.9
30/12/2016 12:00	56.83	56.83	36.1
30/12/2016 18:00	56.81	56.81	29.8
31/12/2016 00:00	56.23	56.23	26.1
31/12/2016 06:00	56.21	56.21	29.7

31/12/2016 12:00	56.72	56.72	39.9
31/12/2016 18:00	55.67	55.67	29.4
01/01/2017 00:00	55.43	55.43	28.3
01/01/2017 06:00	55.12	55.12	26.1
01/01/2017 12:00	54.76	54.76	34.6
01/01/2017 18:00	55.41	55.41	29.8
02/01/2017 00:00	55.07	55.07	25.2
02/01/2017 06:00	55.63	55.63	26.7
02/01/2017 12:00	56.40	56.40	34.8
02/01/2017 18:00	55.63	55.63	29.3
03/01/2017 00:00	56.36	56.36	26.1
03/01/2017 06:00	56.79	56.79	24.4
03/01/2017 12:00	55.58	55.58	33.7
03/01/2017 18:00	55.24	55.24	28.9
04/01/2017 00:00	54.81	54.81	22.3
04/01/2017 06:00	54.59	54.59	27.1
04/01/2017 12:00	54.33	54.33	36.2
04/01/2017 18:00	55.44	55.44	29.9
05/01/2017 00:00	56.52	56.52	26.4
05/01/2017 06:00	56.63	56.63	29.2
05/01/2017 12:00	56.71	56.71	38.7
05/01/2017 18:00	56.85	56.85	29.7
06/01/2017 00:00	56.98	56.98	26.9
06/01/2017 06:00	55.87	55.87	27.6
06/01/2017 12:00	55.73	55.73	34.7
06/01/2017 18:00	55.58	55.58	29.5
07/01/2017 00:00	55.42	55.42	25.4
07/01/2017 06:00	55.37	55.37	26.8
07/01/2017 12:00	55.21	55.21	34.9
07/01/2017 18:00	56.13	56.13	29.8
08/01/2017 00:00	56.35	56.35	26.6
08/01/2017 06:00	57.51	57.51	24.7
08/01/2017 12:00	56.72	56.72	33.9
08/01/2017 18:00	56.55	56.55	28.3
09/01/2017 00:00	56.34	56.34	21.5
09/01/2017 06:00	57.49	57.49	26.8
09/01/2017 12:00	56.85	56.85	36.7
09/01/2017 18:00	56.64	56.64	29.4
10/01/2017 00:00	56.47	56.47	25.8
10/01/2017 06:00	56.38	56.38	29.6
10/01/2017 12:00	56.23	56.23	39.1
10/01/2017 18:00	55.68	55.68	30.0
11/01/2017 00:00	55.47	55.47	27.2

11/01/2017 06:00	55.27	55.27	25.9
11/01/2017 12:00	56.45	56.45	35.7
11/01/2017 18:00	56.67	56.67	29.6
12/01/2017 00:00	56.71	56.71	24.3
12/01/2017 06:00	56.83	56.83	25.9
12/01/2017 12:00	56.89	56.89	34.8
12/01/2017 18:00	56.93	56.93	29.4
13/01/2017 00:00	55.72	55.72	26.2
13/01/2017 06:00	55.46	55.46	24.1
13/01/2017 12:00	54.21	54.21	32.9
13/01/2017 18:00	55.46	55.46	28.3
14/01/2017 00:00	55.67	55.67	22.7
14/01/2017 06:00	56.38	56.38	27.2
14/01/2017 12:00	56.59	56.59	35.2
14/01/2017 18:00	57.26	57.26	29.8
15/01/2017 00:00	56.65	56.65	26.4
15/01/2017 06:00	56.51	56.51	29.9
15/01/2017 12:00	56.43	56.43	38.6
15/01/2017 18:00	55.89	55.89	31.2
16/01/2017 00:00	54.74	54.74	29.1
16/01/2017 06:00	54.51	54.51	25.3
16/01/2017 12:00	54.34	54.34	36.5
16/01/2017 18:00	54.29	54.29	30.5
17/01/2017 00:00	55.48	55.48	27.3
17/01/2017 06:00	55.57	55.57	25.6
17/01/2017 12:00	56.63	56.63	35.9
17/01/2017 18:00	55.55	55.55	28.5
18/01/2017 00:00	55.25	55.25	27.4
18/01/2017 06:00	54.56	54.56	25.4
18/01/2017 12:00	54.46	54.46	25.6
18/01/2017 18:00	53.97	53.97	27.9
19/01/2017 00:00	53.37	53.37	27.0
19/01/2017 06:00	54.85	54.85	27.2
19/01/2017 12:00	54.90	54.90	40.1
19/01/2017 18:00	56.56	56.56	24.9
20/01/2017 00:00	56.75	56.75	28.8
20/01/2017 06:00	56.82	56.82	26.7
20/01/2017 12:00	56.90	56.90	33.4
20/01/2017 18:00	55.34	55.34	26.1
21/01/2017 00:00	54.83	54.83	25.3
21/01/2017 06:00	54.71	54.71	27.2
21/01/2017 12:00	54.53	54.53	26.8
21/01/2017 18:00	55.24	55.24	34.6

22/01/2017 00:00	55.58	55.58	26.5
22/01/2017 06:00	56.69	56.69	26.7
22/01/2017 12:00	56.87	56.87	36.1
22/01/2017 18:00	57.41	57.41	28.9
23/01/2017 00:00	56.75	56.75	27.6
23/01/2017 06:00	57.79	57.79	25.3
23/01/2017 12:00	56.89	56.89	38.4
23/01/2017 18:00	56.34	56.34	26.7
24/01/2017 00:00	55.87	55.87	27.1
24/01/2017 06:00	55.92	55.92	24.9
24/01/2017 12:00	54.88	54.88	25.8
24/01/2017 18:00	54.62	54.62	26.3
25/01/2017 00:00	55.43	55.43	25.4
25/01/2017 06:00	56.58	56.58	26.1
25/01/2017 12:00	56.97	56.97	38.9
25/01/2017 18:00	57.34	57.34	32.4
26/01/2017 00:00	56.97	56.97	27.5
26/01/2017 06:00	55.86	55.86	26.0
26/01/2017 12:00	55.62	55.62	38.4
26/01/2017 18:00	55.51	55.51	32.8
27/01/2017 00:00	55.48	55.48	27.7
27/01/2017 06:00	55.35	55.35	26.8
27/01/2017 12:00	55.27	55.27	34.8
27/01/2017 18:00	55.19	55.19	30.4
28/01/2017 00:00	55.01	55.01	27.1
28/01/2017 06:00	53.84	53.84	25.6
28/01/2017 12:00	53.65	53.65	37.8
28/01/2017 18:00	53.34	53.34	29.1
29/01/2017 00:00	52.79	52.79	27.3
29/01/2017 06:00	52.67	52.67	26.5
29/01/2017 12:00	52.56	52.56	38.7
29/01/2017 18:00	52.38	52.38	38.9
30/01/2017 00:00	52.22	52.22	27.6
30/01/2017 06:00	53.68	53.68	26.5
30/01/2017 12:00	53.89	53.89	41.6
30/01/2017 18:00	54.81	54.81	31.3
31/01/2017 00:00	54.76	54.76	27.1
31/01/2017 06:00	54.65	54.65	26.5
31/01/2017 12:00	54.50	54.50	35.6
31/01/2017 18:00	54.43	54.43	31.6
01/02/2017 00:00	54.39	54.39	28.3
01/02/2017 06:00	54.17	54.17	25.4
01/02/2017 12:00	53.88	53.88	37.1

01/02/2017 18:00	54.32	54.32	30.9
02/02/2017 00:00	54.48	54.48	28.5
02/02/2017 06:00	54.67	54.67	26.4
02/02/2017 12:00	54.79	54.79	36.1
02/02/2017 18:00	54.83	54.83	29.7
03/02/2017 00:00	54.90	54.90	27.3
03/02/2017 06:00	53.78	53.78	25.4
03/02/2017 12:00	53.62	53.62	37.6
03/02/2017 18:00	53.53	53.53	28.9
04/02/2017 00:00	53.43	53.43	25.8
04/02/2017 06:00	53.23	53.23	24.0
04/02/2017 12:00	53.13	53.13	37.8
04/02/2017 18:00	53.04	53.04	36.7
05/02/2017 00:00	54.24	54.24	25.8
05/02/2017 06:00	54.46	54.46	23.7
05/02/2017 12:00	54.56	54.56	35.4
05/02/2017 18:00	54.67	54.67	32.1
06/02/2017 00:00	54.71	54.71	27.0
06/02/2017 06:00	54.77	54.77	24.9
06/02/2017 12:00	54.79	54.79	42.8
06/02/2017 18:00	54.85	54.85	28.3
07/02/2017 00:00	54.96	54.96	28.7
07/02/2017 06:00	55.23	55.23	24.1
07/02/2017 12:00	55.54	55.54	42.9
07/02/2017 18:00	55.87	55.87	27.8
08/02/2017 00:00	54.98	54.98	26.8
08/02/2017 06:00	54.75	54.75	24.3
08/02/2017 12:00	54.65	54.65	32.9
08/02/2017 18:00	54.52	54.52	27.4
09/02/2017 00:00	54.43	54.43	27.6
09/02/2017 06:00	54.36	54.36	26.8
09/02/2017 12:00	54.27	54.27	34.9
09/02/2017 18:00	54.19	54.19	37.5
10/02/2017 00:00	55.18	55.18	26.4
10/02/2017 06:00	55.37	55.37	24.1
10/02/2017 12:00	55.86	55.86	35.6
10/02/2017 18:00	54.92	54.92	30.8
11/02/2017 00:00	54.84	54.84	27.9
11/02/2017 06:00	53.96	53.96	27.6
11/02/2017 12:00	53.74	53.74	36.1
11/02/2017 18:00	54.32	54.32	29.4
12/02/2017 00:00	54.56	54.56	26.7
12/02/2017 06:00	53.86	53.86	23.4

12/02/2017 12:00	54.64	54.64	40.9
12/02/2017 18:00	54.89	54.89	28.5
13/02/2017 00:00	55.43	55.43	26.3
13/02/2017 06:00	55.67	55.67	26.7
13/02/2017 12:00	54.66	54.66	33.4
13/02/2017 18:00	54.23	54.23	28.7
14/02/2017 00:00	53.95	53.95	26.1
14/02/2017 06:00	53.78	53.78	25.4
14/02/2017 12:00	53.61	53.61	34.6
14/02/2017 18:00	53.51	53.51	37.9
15/02/2017 00:00	53.32	53.32	28.6
15/02/2017 06:00	54.43	54.43	25.1
15/02/2017 12:00	54.76	54.76	38.9
15/02/2017 18:00	55.35	55.35	30.7
16/02/2017 00:00	55.76	55.76	38.6
16/02/2017 06:00	55.89	55.89	24.1
16/02/2017 12:00	54.67	54.67	36.9
16/02/2017 18:00	54.32	54.32	36.7

Origen: Elaboración propia

- Registro de datos de presión y temperatura del ducto entre el punto VDMIC044 cada 6 horas.

Fecha	VLHM044-PI-3101 (bar)	VLHM044-PI-3103 (bar)	VLHM044-TI-3101 (°C)
01/12/2016 00:00	54.48	54.40	19.1
01/12/2016 06:00	54.40	54.31	32.3
01/12/2016 12:00	54.54	54.49	37.4
01/12/2016 18:00	54.35	54.28	20.6
02/12/2016 00:00	54.32	54.26	21.9
02/12/2016 06:00	54.96	54.90	17.5
02/12/2016 12:00	55.15	55.09	31.8
02/12/2016 18:00	56.04	55.96	23.6
03/12/2016 00:00	56.10	56.03	18.9
03/12/2016 06:00	55.89	55.82	20.2
03/12/2016 12:00	55.81	55.72	37.2
03/12/2016 18:00	55.67	55.61	25.6
04/12/2016 00:00	55.91	55.85	19.5
04/12/2016 06:00	55.89	55.82	35.7
04/12/2016 12:00	55.95	55.90	38.8
04/12/2016 18:00	56.15	56.14	20.4
05/12/2016 00:00	56.18	56.17	23.1
05/12/2016 06:00	56.10	56.10	20.6
05/12/2016 12:00	55.91	55.91	36.9
05/12/2016 18:00	55.91	55.90	24.7
06/12/2016 00:00	55.50	55.50	20.1
06/12/2016 06:00	54.87	54.86	22.1
06/12/2016 12:00	55.00	55.00	35.6
06/12/2016 18:00	54.76	54.75	23.9
07/12/2016 00:00	55.27	55.27	21.7
07/12/2016 06:00	54.94	54.93	29.8
07/12/2016 12:00	55.23	55.23	35.9
07/12/2016 18:00	56.32	56.32	23.6
08/12/2016 00:00	56.15	56.17	19.4
08/12/2016 06:00	56.16	56.15	22.3
08/12/2016 12:00	55.04	55.05	28.2
08/12/2016 18:00	55.03	55.03	26.1
09/12/2016 00:00	55.07	55.08	20.2
09/12/2016 06:00	55.84	55.83	29.8
09/12/2016 12:00	55.72	55.72	36.7
09/12/2016 18:00	55.51	55.50	23.4
10/12/2016 00:00	56.05	56.05	21.9

10/12/2016 06:00	56.23	56.23	28.5
10/12/2016 12:00	56.27	56.26	38.7
10/12/2016 18:00	56.15	56.15	26.4
11/12/2016 00:00	56.41	56.42	23.6
11/12/2016 06:00	56.16	56.16	26.1
11/12/2016 12:00	55.92	55.92	38.2
11/12/2016 18:00	55.29	55.29	27.3
12/12/2016 00:00	55.23	55.22	23.9
12/12/2016 06:00	53.94	53.94	27.7
12/12/2016 12:00	54.22	54.22	36.5
12/12/2016 18:00	54.64	54.65	29.8
13/12/2016 00:00	55.03	55.04	22.2
13/12/2016 06:00	55.80	55.80	29.5
13/12/2016 12:00	56.38	56.37	36.4
13/12/2016 18:00	56.18	56.17	27.8
14/12/2016 00:00	56.19	56.20	21.3
14/12/2016 06:00	55.12	55.12	19.2
14/12/2016 12:00	56.24	56.24	39.0
14/12/2016 18:00	55.34	55.33	8.0
15/12/2016 00:00	55.52	55.52	23.5
15/12/2016 06:00	55.77	55.77	21.4
15/12/2016 12:00	56.05	56.05	34.8
15/12/2016 18:00	56.62	56.63	27.9
16/12/2016 00:00	56.81	56.81	26.2
16/12/2016 06:00	56.37	56.37	19.4
16/12/2016 12:00	56.20	56.20	31.8
16/12/2016 18:00	56.46	56.46	36.8
17/12/2016 00:00	56.25	56.25	21.3
17/12/2016 06:00	56.41	56.41	22.4
17/12/2016 12:00	55.77	55.76	17.9
17/12/2016 18:00	55.50	55.49	30.9
18/12/2016 00:00	55.55	55.45	24.6
18/12/2016 06:00	54.72	54.73	19.8
18/12/2016 12:00	54.62	54.63	20.9
18/12/2016 18:00	55.63	55.64	36.9
19/12/2016 00:00	55.91	55.91	25.0
19/12/2016 06:00	56.16	56.18	19.2
19/12/2016 12:00	56.05	56.05	36.4
19/12/2016 18:00	56.02	56.03	39.2
20/12/2016 00:00	56.17	56.18	20.2
20/12/2016 06:00	55.63	55.62	22.5
20/12/2016 12:00	55.63	55.64	19.9
20/12/2016 18:00	54.67	54.68	35.8

21/12/2016 00:00	54.77	54.78	23.8
21/12/2016 06:00	53.94	53.94	20.1
21/12/2016 12:00	54.75	54.75	21.6
21/12/2016 18:00	55.60	55.60	34.3
22/12/2016 00:00	56.05	56.04	24.2
22/12/2016 06:00	56.12	56.13	20.9
22/12/2016 12:00	56.27	56.27	28.9
22/12/2016 18:00	56.68	56.68	34.7
23/12/2016 00:00	56.40	56.40	22.4
23/12/2016 06:00	55.92	55.92	19.1
23/12/2016 12:00	55.93	55.92	21.2
23/12/2016 18:00	55.82	55.81	27.9
24/12/2016 00:00	55.80	55.80	25.8
24/12/2016 06:00	55.82	55.83	19.7
24/12/2016 12:00	55.18	55.17	29.4
24/12/2016 18:00	55.27	55.27	35.6
25/12/2016 00:00	55.78	55.78	23.0
25/12/2016 06:00	56.20	56.21	20.8
25/12/2016 12:00	56.18	56.18	27.8
25/12/2016 18:00	55.80	55.80	37.9
26/12/2016 00:00	55.72	55.72	25.8
26/12/2016 06:00	55.78	55.78	22.4
26/12/2016 12:00	55.62	55.62	25.5
26/12/2016 18:00	55.81	55.81	37.8
27/12/2016 00:00	56.68	56.68	26.4
27/12/2016 06:00	56.65	56.65	22.1
27/12/2016 12:00	56.17	56.17	27.0
27/12/2016 18:00	56.08	56.07	35.5
28/12/2016 00:00	56.22	56.22	29.2
28/12/2016 06:00	56.70	56.70	23.4
28/12/2016 12:00	56.49	56.50	30.7
28/12/2016 18:00	55.62	55.62	35.4
29/12/2016 00:00	56.71	56.73	27.5
29/12/2016 06:00	55.81	55.81	22.4
29/12/2016 12:00	55.37	55.36	20.5
29/12/2016 18:00	55.17	55.17	37.6
30/12/2016 00:00	55.63	55.62	18.9
30/12/2016 06:00	56.79	56.79	23.4
30/12/2016 12:00	56.77	56.78	20.9
30/12/2016 18:00	56.75	56.75	33.5
31/12/2016 00:00	56.18	56.17	29.1
31/12/2016 06:00	56.16	56.15	20.2
31/12/2016 12:00	56.77	56.66	31.9

31/12/2016 18:00	55.62	55.62	36.5
01/01/2017 00:00	55.37	55.38	20.4
01/01/2017 06:00	55.07	55.06	22.3
01/01/2017 12:00	54.70	54.70	18.2
01/01/2017 18:00	55.35	55.35	30.9
02/01/2017 00:00	55.00	55.01	25.1
02/01/2017 06:00	55.57	55.57	18.0
02/01/2017 12:00	56.34	56.35	21.4
02/01/2017 18:00	55.57	55.57	36.5
03/01/2017 00:00	56.30	56.31	26.3
03/01/2017 06:00	56.73	56.73	20.4
03/01/2017 12:00	55.52	55.52	34.7
03/01/2017 18:00	55.19	55.19	37.9
04/01/2017 00:00	54.75	54.75	19.5
04/01/2017 06:00	54.52	54.53	22.8
04/01/2017 12:00	54.28	54.28	21.4
04/01/2017 18:00	55.39	55.39	35.8
05/01/2017 00:00	56.46	56.47	25.6
05/01/2017 06:00	56.57	56.57	22.4
05/01/2017 12:00	56.65	56.65	23.7
05/01/2017 18:00	56.80	56.80	34.9
06/01/2017 00:00	56.92	56.92	24.8
06/01/2017 06:00	55.82	55.82	22.8
06/01/2017 12:00	55.67	55.67	30.2
06/01/2017 18:00	55.52	55.52	34.8
07/01/2017 00:00	55.37	55.36	24.1
07/01/2017 06:00	55.32	55.31	20.7
07/01/2017 12:00	55.15	55.15	23.5
07/01/2017 18:00	56.06	56.07	28.7
08/01/2017 00:00	56.29	56.30	25.4
08/01/2017 06:00	57.49	57.46	21.4
08/01/2017 12:00	56.67	56.67	28.6
08/01/2017 18:00	56.50	56.50	35.4
09/01/2017 00:00	56.28	56.29	22.7
09/01/2017 06:00	57.47	57.42	21.1
09/01/2017 12:00	56.79	56.80	27.9
09/01/2017 18:00	56.59	56.59	37.8
10/01/2017 00:00	56.42	56.42	26.5
10/01/2017 06:00	56.32	56.32	24.3
10/01/2017 12:00	56.17	56.17	26.2
10/01/2017 18:00	55.63	55.61	37.5
11/01/2017 00:00	55.42	55.41	26.4
11/01/2017 06:00	55.21	55.22	24.2

11/01/2017 12:00	56.40	56.40	28.7
11/01/2017 18:00	56.61	56.60	35.9
12/01/2017 00:00	56.65	56.65	30.4
12/01/2017 06:00	56.77	56.77	23.4
12/01/2017 12:00	56.82	56.83	30.2
12/01/2017 18:00	56.88	56.87	36.1
13/01/2017 00:00	55.67	55.62	27.9
13/01/2017 06:00	55.41	55.41	20.9
13/01/2017 12:00	54.15	54.15	19.8
13/01/2017 18:00	55.40	55.40	37.4
14/01/2017 00:00	55.62	55.61	28.9
14/01/2017 06:00	56.32	56.32	22.7
14/01/2017 12:00	56.53	56.52	20.4
14/01/2017 18:00	57.21	57.20	33.5
15/01/2017 00:00	56.60	56.59	26.8
15/01/2017 06:00	56.45	56.46	18.9
15/01/2017 12:00	56.47	56.37	31.8
15/01/2017 18:00	55.83	55.84	36.7
16/01/2017 00:00	54.68	54.69	21.4
16/01/2017 06:00	54.45	54.44	22.5
16/01/2017 12:00	54.29	54.28	18.6
16/01/2017 18:00	54.23	54.24	30.9
17/01/2017 00:00	55.42	55.43	22.7
17/01/2017 06:00	55.51	55.50	19.5
17/01/2017 12:00	56.57	56.58	20.4
17/01/2017 18:00	55.50	55.49	36.8
18/01/2017 00:00	55.20	55.19	24.8
18/01/2017 06:00	54.50	54.51	20.1
18/01/2017 12:00	54.41	54.40	36.0
18/01/2017 18:00	53.92	53.91	37.7
19/01/2017 00:00	53.31	53.32	21.4
19/01/2017 06:00	54.80	54.79	22.5
19/01/2017 12:00	54.84	54.85	21.3
19/01/2017 18:00	56.50	56.51	35.5
20/01/2017 00:00	56.69	56.70	25.4
20/01/2017 06:00	56.76	56.77	21.6
20/01/2017 12:00	56.84	56.85	23.4
20/01/2017 18:00	55.28	55.29	34.7
21/01/2017 00:00	54.77	54.78	22.5
21/01/2017 06:00	54.65	54.66	21.7
21/01/2017 12:00	54.48	54.47	28.9
21/01/2017 18:00	55.19	55.18	34.8
22/01/2017 00:00	55.52	55.53	24.8

22/01/2017 06:00	56.62	56.63	20.9
22/01/2017 12:00	56.82	56.81	23.1
22/01/2017 18:00	57.35	57.35	27.7
23/01/2017 00:00	56.70	56.69	25.7
23/01/2017 06:00	57.73	57.73	20.0
23/01/2017 12:00	56.83	56.84	30.1
23/01/2017 18:00	56.29	56.28	36.1
24/01/2017 00:00	55.81	55.82	24.7
24/01/2017 06:00	55.86	55.85	22.9
24/01/2017 12:00	54.83	54.83	28.2
24/01/2017 18:00	54.57	54.56	37.9
25/01/2017 00:00	55.37	55.38	27.1
25/01/2017 06:00	56.52	56.53	24.2
25/01/2017 12:00	56.91	56.91	25.5
25/01/2017 18:00	57.29	57.28	37.8
26/01/2017 00:00	56.91	56.92	26.9
26/01/2017 06:00	55.81	55.80	24.0
26/01/2017 12:00	55.56	55.57	26.9
26/01/2017 18:00	55.45	55.46	35.5
27/01/2017 00:00	55.42	55.42	28.8
27/01/2017 06:00	55.30	55.29	23.1
27/01/2017 12:00	55.21	55.22	28.9
27/01/2017 18:00	55.13	55.14	35.1
28/01/2017 00:00	54.95	54.96	26.9
28/01/2017 06:00	53.79	53.79	22.5
28/01/2017 12:00	53.60	53.59	20.1
28/01/2017 18:00	53.28	53.28	38.1
29/01/2017 00:00	52.73	52.73	27.5
29/01/2017 06:00	52.62	52.62	22.8
29/01/2017 12:00	52.50	52.51	20.9
29/01/2017 18:00	52.32	52.32	33.3
30/01/2017 00:00	52.17	52.16	27.3
30/01/2017 06:00	53.63	53.62	20.1
30/01/2017 12:00	53.83	53.82	31.9
30/01/2017 18:00	54.75	54.75	36.8
31/01/2017 00:00	54.70	54.71	21.2
31/01/2017 06:00	54.59	54.60	22.9
31/01/2017 12:00	54.45	54.44	18.5
31/01/2017 18:00	54.38	54.37	30.6
01/02/2017 00:00	54.37	54.33	24.8
01/02/2017 06:00	54.11	54.11	19.7
01/02/2017 12:00	53.82	53.83	21.4
01/02/2017 18:00	54.26	54.27	36.9

02/02/2017 00:00	54.42	54.43	26.1
02/02/2017 06:00	54.62	54.62	20.4
02/02/2017 12:00	54.73	54.74	35.7
02/02/2017 18:00	54.78	54.79	37.8
03/02/2017 00:00	54.85	54.85	20.0
03/02/2017 06:00	53.73	53.72	23.6
03/02/2017 12:00	53.56	53.57	21.4
03/02/2017 18:00	53.47	53.47	36.6
04/02/2017 00:00	53.38	53.48	25.0
04/02/2017 06:00	53.18	53.17	21.7
04/02/2017 12:00	53.08	53.08	22.6
04/02/2017 18:00	52.98	52.98	36.2
05/02/2017 00:00	54.18	54.18	24.3
05/02/2017 06:00	54.40	54.41	22.4
05/02/2017 12:00	54.50	54.51	28.4
05/02/2017 18:00	54.61	54.61	34.6
06/02/2017 00:00	54.65	54.65	24.5
06/02/2017 06:00	54.71	54.72	20.7
06/02/2017 12:00	54.73	54.73	21.9
06/02/2017 18:00	54.80	54.79	27.7
07/02/2017 00:00	54.91	54.91	25.9
07/02/2017 06:00	55.18	55.17	20.8
07/02/2017 12:00	55.48	55.49	28.6
07/02/2017 18:00	55.82	55.82	35.1
08/02/2017 00:00	54.92	54.93	24.2
08/02/2017 06:00	54.70	54.69	22.3
08/02/2017 12:00	54.60	54.60	27.9
08/02/2017 18:00	54.47	54.47	37.8
09/02/2017 00:00	54.37	54.37	27.4
09/02/2017 06:00	54.30	54.30	24.5
09/02/2017 12:00	54.20	54.22	26.8
09/02/2017 18:00	54.13	54.13	37.7
10/02/2017 00:00	55.13	55.12	26.9
10/02/2017 06:00	55.32	55.31	24.1
10/02/2017 12:00	55.80	55.81	28.2
10/02/2017 18:00	54.86	54.86	35.6
11/02/2017 00:00	54.78	54.79	30.1
11/02/2017 06:00	53.90	53.91	23.4
11/02/2017 12:00	53.69	53.69	30.5
11/02/2017 18:00	54.26	54.26	37.1
12/02/2017 00:00	54.51	54.51	28.8
12/02/2017 06:00	53.80	53.80	22.4
12/02/2017 12:00	54.59	54.59	21.4

12/02/2017 18:00	54.83	54.83	39.7
13/02/2017 00:00	55.38	55.38	29.2
13/02/2017 06:00	55.61	55.62	24.9
13/02/2017 12:00	54.60	54.61	22.5
13/02/2017 18:00	54.17	54.18	35.5
14/02/2017 00:00	53.90	53.89	28.5
14/02/2017 06:00	53.72	53.72	26.4
14/02/2017 12:00	53.55	53.46	35.2
14/02/2017 18:00	53.45	53.45	38.1
15/02/2017 00:00	53.26	53.27	29.6
15/02/2017 06:00	54.37	54.38	26.7
15/02/2017 12:00	54.71	54.70	39.4
15/02/2017 18:00	55.30	55.30	31.2
16/02/2017 00:00	55.71	55.71	39.6
16/02/2017 06:00	55.83	55.83	25.0
16/02/2017 12:00	54.61	54.61	37.2
16/02/2017 18:00	54.27	54.27	36.2

Origen: Elaboración propia

**ANEXO 02: ENTREVISTA A CHRISTIAN VADILLO – SUPERVISOR DE SCADA
Y COMUNICACIONES.**

¿Cuál es el diámetro exterior de la tubería?

- 508mm.

¿Cuál es el espesor de la tubería?

- 11,13mm.

¿Cuál es la densidad del producto en el ducto?

- No contamos con esa información.

¿Cuándo consideran que en el sistema existe una fuga?

- Cuando la presión disminuye 3 bares en un minuto.

¿Actualmente cuentan con algún sistema de seguridad?

- Sí, el sistema cierra una válvula siempre y cuando exista una variación de presión mayor a tres bares en un minuto.

¿El sistema es capaz de detectar la ubicación aproximada de una fuga?

- El sistema no es capaz de detectar la ubicación de la fuga.

¿Es importante conocer la ubicación de una fuga?

- Sí, sería de mucha utilidad para poder aislar el segmento afectado frente a una ruptura.

¿Cómo debería actuar el sistema frente a una fuga en la troncal?

- Si se confirma la existencia de una fuga a través del sistema, éste debe indicar la ubicación de la misma para poder aislar el segmento afectado.
- En modo manual el sistema sólo debe indicarle al operador la existencia y la ubicación de la fuga; en modo automático el sistema debe realizar la acción de cierre de válvulas.

¿Qué medios de comunicación emplean en el gasoducto?

- Nosotros contamos con fibra óptica en toda la troncal y también tenemos radio enlaces de respaldo, lo que hace que los datos lleguen al sistema casi de inmediato.

¿Qué longitud tiene el gasoducto?

- Tiene 200 Km de longitud y contamos con válvulas de seguridad cada 20 km aproximadamente.

De acuerdo a investigaciones realizadas, los sistemas de detección de fugas tienen como principio el uso de presión y flujo. ¿Ustedes tienen en su troncal lo antes mencionado?

No, solo contamos con monitoreo de presiones. Por temas de costos no implementaríamos flujómetros en el ducto.

ANEXO 3: Elaboración de un cuestionario para definir el comportamiento de las ondas de presión y la composición del gas natural.

1. ¿Qué es una onda presión?

En realidad, la presión de un fluido (un líquido o gas) está íntimamente relacionada con ella, pero no es lo mismo que una fuerza. La presión está relacionada con el módulo de las fuerzas que una porción de fluidos ejerce sobre sus alrededores en todas las direcciones. (Kane y Sternheim, 2007, pp. 227).

2. ¿Cuál es el tiempo de propagación de la onda de presión?

“El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:” (Asociación de Fabricantes de Tubo de Acero, s.f, p.79)

$$T_p = \frac{2L}{c}$$

Dónde: T_p = tiempo de propagación (s)

L = longitud de la tubería

c = Velocidad de la onda de presión.

3. Dependencia de la Rapidez de Propagación con la Temperatura

La gran mayoría de ondas en un gas, en particular en el aire, tienen frecuencias inferiores a 10^9 Hz . Hasta esta frecuencia el proceso de propagación ondulatoria es un fenómeno adiabático, por encima de ella es un proceso isotérmico. En la aproximación adiabática, $B = \gamma p_0$, donde $\gamma = C_p/C_v$ (C_p es la capacidad calorífica molar a presión constante y C_v es a volumen constante). (Alzate, 2007, p. 31).

$\gamma = 1.67$, gases monoatómicos,

$\gamma = 1.40$, gases diatómicos,

$\gamma = 1.33$, gases poliatómicos.

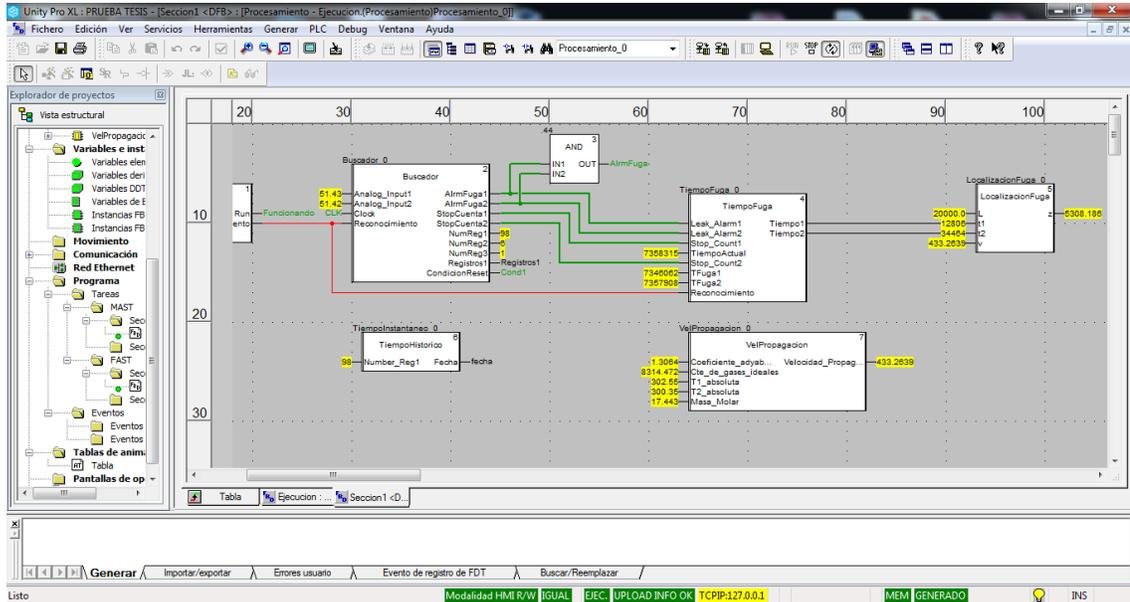
Reemplacemos $B = \gamma p_0$

$$v = \sqrt{\gamma p_0 / \rho_0}.$$

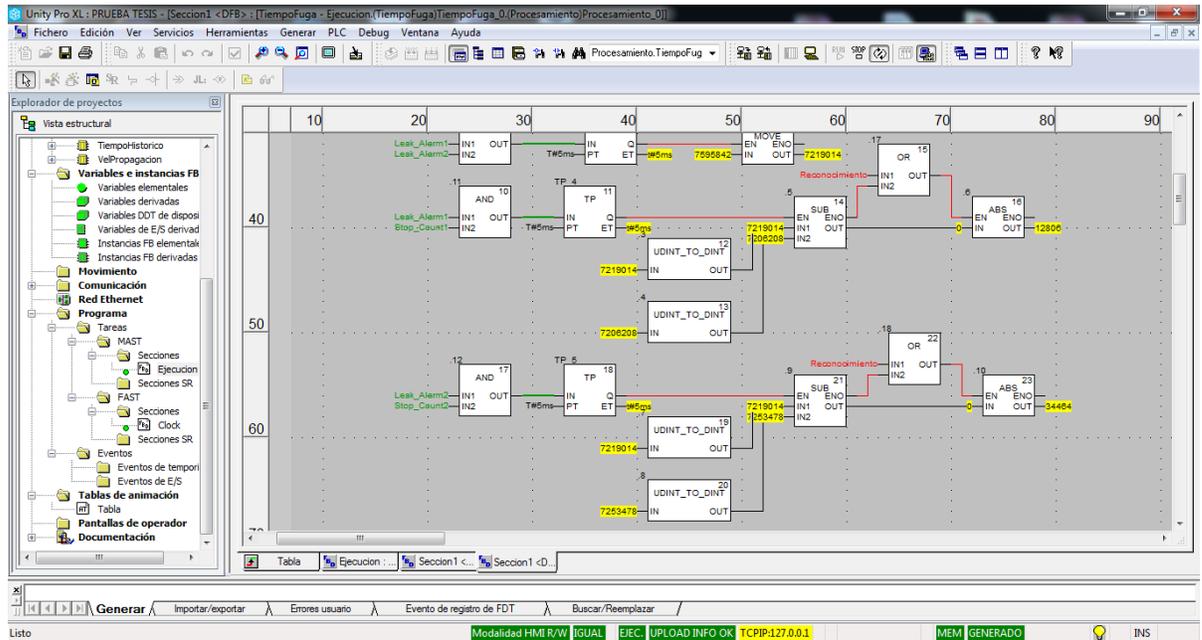
4. ¿Cuál es la composición del gas natural?

Mezcla de hidrocarburos ligeros, fundamentalmente metano y pequeñas cantidades de otros (etano y propano) e impurezas y sustancias indeseables tales como: agua, nitrógeno, dióxido de carbono, ácido sulfúrico gaseoso y helio. (Parra, 2003, p. 306).

ANEXO 4: CAPTURA DE PANTALLA DE LA SIMULACION EN BASE A BLOQUE FUNCIONAL



Nombre	Valor	Tipo	Comentario
VLHM021_PIT_3103	51.43	REAL	
VDHMC044_PIT_3101	51.43	REAL	
VLHM021_TIT_3101	302.55	REAL	
VDHMC044_TIT_3101	300.35	REAL	
Reset	0	BOOL	
Coeficiente_adyabati...	1.3064	REAL	
M	17.443	REAL	
R	8314.472	REAL	
Procesamiento_0			
<entradas>			
<salidas>			
AlmFuga	1	BOOL	Alarma de fuga
Funcionando	1	BOOL	Bloqueo corriendo
Velocidad_Pr...	433.2639	REAL	Velocidad de propagación de la onda de presión
z	5308.186	REAL	Localización de la fuga en el segmento
<entradas/salidas>			
<público>			
LocalizacionFuga_0			LocalizacionFuga



Unity Pro XL: PRUEBA TESIS* - [Tabla]

Modificación Forzar

Nombre	Valor	Tipo	Comentario
VLHM021_PIT_3103	51.0	REAL	
VDHMIC04_PIT_3101	51.0	REAL	
VLHM021_TIT_3101	302.55	REAL	
VDHMIC04_TIT_3101	300.35	REAL	
Reset	0	BOOL	
Coefficiente_adyabati...	1.3064	REAL	
M	17.443	REAL	
R	8314.472	REAL	
Procesamiento_0		Procesamiento	
Entradas			
AlmFuga	1	BOOL	Alarma de fuga
Funcionando	1	BOOL	Bloqueo corriendo
Velocidad_Pr...	433.2639	REAL	Velocidad de propagación de la onda de presión
Localizacion_Fuga_0	1105117.2	REAL	Localización de la fuga en el segmento
Salidas			
LocalizacionFuga_0		LocalizacionFuga	

Modo de ejecución: Generar

Modo de ejecución: Igual EIEC. UPLOAD INFO OK TCP/IP:127.0.0.1 MEM GENERADO INS

ANEXO 5: LISTADO DE MATERIALES Y EQUIPOS

LISTADO DE MATERIALES					
ITEM	CANTIDAD	MARCA	MODELO	DESCRIPCION	PRECIO REFERENCIAL
PAC MODICON M580					
1	1	Schneider Electric	BMEXBP0400	Backplane de 04 slots	150
2	1	Schneider Electric	BMXCPS2000	Módulo Fuente de alimentación de 100-240vac	300
3	1	Schneider Electric	BMEH584040	Procesador CPU Modicon M580	5000
4	1	Schneider Electric	BMXXEM010	Tapas para modulos no ocupados	50
BACKPLANE DE EXTENSIÓN 1					
5	1	Schneider Electric	BMEXBP0800	Backplane de 08 slots	210
6	1	Schneider Electric	BMXCPS3500	Fuente de alimentacion 120Vac, 60Hz	500
7	1	Schneider Electric	BMECRA31210	Módulo de comunicación RIO drop	1400
8	1	Schneider Electric	BMEAHI0812	Módulo de 8 entradas analógicas tipo 4-20ma + Hart	1000
9	1	Schneider Electric	BMXDAI1604	Módulo de 16 entradas digitales 120 Vac	300
10	1	Schneider Electric	BMXDRA1605	Módulo de 16 salidas digitales tipo relé 2A 120 Vac	210
11	5	Schneider Electric	BMXFTB2010	Terminal block	25
12	10	Schneider Electric	BMXXEM010	Tapas para modulos no ocupados	100
BACKPLANE DE EXTENSIÓN 2					
13	1	Schneider Electric	BMEXBP0800	Backplane de 08 slots	210
14	1	Schneider Electric	BMXDAI1604	Módulo de 16 entradas digitales 120 Vac	300
15	1	Schneider Electric	BMXDRA1605	Módulo de 16 salidas digitales tipo relé 2A 120 Vac	210
14	1	Schneider Electric	BMXCPS3500	Fuente de alimentacion 120Vac, 60Hz	500
15	1	Schneider Electric	BMECRA31210	Módulo de comunicación RIO drop	1400
16	1	Schneider Electric	BMEAHI0812	Módulo de 8 entradas analógicas tipo 4-20ma + Hart	1000
17	5	Schneider Electric	BMXFTB2010	Terminal block	25

FUSIBLES, BORNERAS Y BREAKERS					
18	2	Schneider Electric	DF2CA005	Fusible cilíndrico de 0.5 A	12
19	2	Schneider Electric	DF101V	Porta fusible de 1P	6
20	40	Phoenix Contact	3214320	Borneras tipo tornillo de 3 pisos con fusible	765
21	40	-	-	Fusible para bornera	-
22	48	Phoenix Contact	3214325	Borneras tipo tornillo de 2 pisos con fusible	425
23	48	-	-	Fusible para bornera	-
24	4	Phoenix Contact	3046032	Borneras tipo tornillo de 1 piso con fusible	60
25	4	-	-	Fusible para bornera	-
26	1	Schneider Electric	NSYTRV44D	Borneras tipo tornillo de 2 pisos pasante	5
27	12	Schneider Electric	NSYTRV42	Borneras tipo tornillo de 1 piso pasante	36
28	5	Schneider Electric	NSYTRV42PE	Borneras tipo tornillo tierra de protección	40
29	30	Schneider Electric	NSYTRAABV35	Tope para borneras	90
30	3	Schneider Electric	NSYSDR200BD	Riel din simétrico 35mm de alto	21
31	1	Schneider Electric	A9F74225	Interruptor termomagnético principal AC 2P de 25A	20
32	1	Schneider Electric	A9F74116	Interruptor termomagnético AC 1P de 16A	30
33	3	Schneider Electric	A9F74102	Interruptor termomagnético AC 1P de 2A	60
34	3	Schneider Electric	A9F74101	Interruptor termomagnético AC 1P de 1A	60
35	1	Schneider Electric	A9N61503	Interruptor termomagnético DC 1P de 3A	20
36	1	Schneider Electric	A9N61505	Interruptor termomagnético DC 1P de 5A	20
GABINETE					
37	1	Schneider Electric	NSYSFV20	Montantes verticales 2000 mm	200
38	1	Schneider Electric	NSYSFC106	Techo + base inferior de 1000x600 mm	650
39	1	Schneider Electric	NSYSRCE1060	Techo para entrada de cables 1000x600 mm	20
40	1	Schneider Electric	NSYSFD2010	Puerta de 2000x1000	350
41	1	Schneider Electric	NSYIN405E1	Inserto con llave para manija estándar	25
42	1	Schneider Electric	NSYBP2010	Panel posterior 2000x1000	200
43	1	Schneider Electric	NSY2SP206	Paneles laterales 2000x600	215
44	1	Schneider Electric	NSYMP2010	Placa de montaje	280
45	1	Schneider Electric	NSYEC1061	Tapa inferior entrada de cables 1000x600	100

46	1	Schneider Electric	NSYSPF10200	Zocalo: frontal y posterior 1000x200	200
47	1	Schneider Electric	NSYSPS6200	Zócalo: laterales 600x200	40
48	1	Schneider Electric	NSYSFEB	Cáncamos para el izaje (4 unidades)	20
49	1	Schneider Electric	NSYSFELB	Ángulos de elevación M12 (Jgo de 4 piezas)	25
50	1	Schneider Electric	NSYSFBK	Kit de unión	25
51	1	Schneider Electric	NSYDPA44	Portaplanos de PVC, D40	6
52	1	Schneider Electric	NSYLAMCU	Lámpara 120vac	120
53	1	Schneider Electric	NSYDCM20	Interruptor puerta 10A	25
54	2	Schneider Electric	NSYCVF85M115PF	Ventilador 120Vac	300
55	1	Schneider Electric	NSYCCOTH120VID	Termostato electrónico 120vac	300
ACCESORIOS ADICIONALES					
64	1	Schneider Electric	NSYRBLZ216146	Regleta de tierra con zócalo aislante	15
65	6	-	-	Canaleta ranurada 80x80 mm longitud 2m	-
66	1	-	-	Canaleta ranurada 100x80 mm longitud 2m	-
67	5	Schneider Electric	NSYTRAC22	Placa terminal para borneras de 1 piso	-
68	2	Schneider Electric	NSYTRACE24	Placa terminal para borneras de 2 pisos	-
69	1	Schneider Electric	A9XPH112	Peine monofásico de 12 polos	-
70	4	Schneider Electric	NSYTRAL42	Puente de unión para 2 polos	-
71	4	Schneider Electric	NSYTRAL43	Puente de unión para 3 polos	-
72	20	Schneider Electric	NSYTRAL44	Puente de unión para 4 polos	-
73	2	Schneider Electric	NSYTRAL45	Puente de unión para 5 polos	-
74	30	Schneider Electric	NSYTRAL410	Puente de unión para 10 polos	-
75	10	Schneider Electric	NSYTRAL420	Puente de unión para 20 polos	-
CONSUMIBLES GENERALES					
76	10	Schneider Electric	NSYTRAB610	Marcadores para borneras del 1 al 10	20
77	10	Schneider Electric	NSYTRAB620	Marcadores para borneras del 11 al 20	10
78	12	Schneider Electric	NSYTRABPV6	Marcadores para borneras en blanco	60
79	2	Phoenix Contact	0817523	Etiqueta de marcador de cables - WML 5 (25X10)R	320
80	1	Phoenix Contact	5145384	Cinta entintada - THERMOMARK-RIBBON 110	134

81	-	INDECO	-	2 rollos de 100m 14 AWG - Cables de alimentación rojo	60
82	-	INDECO	-	2 rollos de 100m 14 AWG- Cables de alimentación negro	60
83	-	INDECO	-	1 rollo de 100m 18 AWG - Policables 16 hilos de control azul	1500
84	-	INDECO	-	1 rollo de 100m 16 AWG - Cables de tierra verde/amarillo	30
85	-	-	-	2 cientos de terminales tubulares azul para cables de control 18 AWG	-
86	-	-	-	2 cientos de terminales tubulares negro para cables de alimentación 14 AWG	-
87	-	-	-	2 cientos de terminales tubulares rojo para cables de alimentación 14 AWG	-
88	-	-	-	1/2 millar de terminales tipo uña amarillo para cables de alimentación 14 AWG	-
89	-	-	-	1 Lamicoide (identif de gabinetes)	-
90	-	-	-	1 bolsa de 20 Galletas de 2x2	-
91	-	-	-	10 bolsas de 100 Cintillos de 20cm	-
92	-	-	-	10 bolsas Espirales plástico de 9mm	-
PRECIO REFERENCIAL TOTAL EN USD					19870