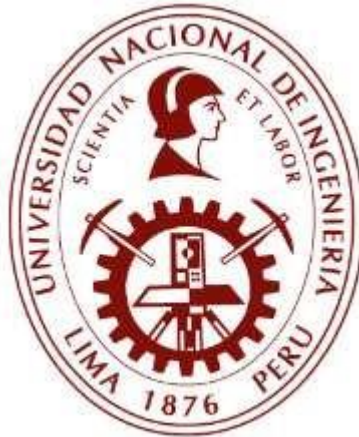


Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



TESIS

**Estudio de un análisis de riesgo de las instalaciones de GNS/GLP
de un comedor universitario para garantizar la seguridad y
continuidad de sus operaciones**

Para obtener el título profesional de
Ingeniero de Petróleo y Gas Natural

Elaborado por

Yanfranco Yonel Romero Mendoza

 [0009-0000-5949-0436](https://orcid.org/0009-0000-5949-0436)

Asesor

MSc. Federico Diaz Morales

 [0000-0002-0589-6542](https://orcid.org/0000-0002-0589-6542)

LIMA – PERÚ

2025

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional y su constante apoyo. Gracias por enseñarme la importancia de la educación y por ser mi mayor fuente de inspiración. A mis hermanos, por su aliento y por recordarme siempre la importancia de la perseverancia. A mi menor hijo Fabrizio Yonel Romero Mendoza que día a día me motiva a salir adelante. A mi pareja Katherine Ninoska Alegre M. porque gracias a ella y su empujón anímico todo esto es posible. A todos los profesores que me guiaron a lo largo de mi formación, por compartir su conocimiento y por sembrar en mí la pasión por la ingeniería. Finalmente, dedico esta tesis a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a mi crecimiento personal y académico.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, cuyo inestimable conocimiento, orientación y paciencia fueron fundamentales para la realización de este trabajo. A mis profesores de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes me proporcionaron las herramientas y el conocimiento necesarios para enfrentar los desafíos académicos y profesionales. A mis padres, por su apoyo incondicional y sus sabias palabras de ánimo durante todos estos años. A mis hermanos, por su constante motivación y por creer en mí. A todos los amigos que estuvieron presentes en los momentos difíciles, gracias por su compañía y apoyo. Y, por último, agradezco a todas las personas y entidades que, de alguna manera, contribuyeron a la culminación de este trabajo, ya sea con su apoyo moral, técnico o logístico. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Resumen

El objetivo del estudio fue identificar y evaluar los riesgos asociados a las instalaciones de Gas Natural Seco (GNS) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), además de desarrollar un plan de mitigación para reducir dichos riesgos. La investigación tuvo un enfoque básico, de nivel descriptivo y diseño no experimental, con carácter comparativo. La muestra consistió en las instalaciones del comedor universitario, empleándose como instrumento una ficha de observación estructurada. Los resultados evidenciaron que el GLP presentó un Nivel de Riesgo (NR) más elevado, alcanzando un NR de 200 (Importante) en dimensiones como inhalación directa, incendio y explosión y evaluación de infraestructura, mientras que el GNS se mantuvo mayormente en un NR moderado (≤ 96). En términos porcentuales, el 70% de los riesgos importantes estuvieron asociados al GLP, mientras que el GNS concentró solo el 30% en riesgos moderados. En conclusión, se identificaron y evaluaron los riesgos, estableciéndose que el GLP es significativamente más riesgoso que el GNS debido a sus características operativas y físico-químicas. El plan de mitigación redujo los niveles de riesgo a valores aceptables, validando su eficacia. En conclusión, se logró identificar los riesgos de ambas instalaciones, estableciéndose que el GLP representa un mayor nivel de riesgo en todas las dimensiones analizadas, principalmente debido a sus características físico-químicas y operativas. Asimismo, el plan de mitigación implementado redujo significativamente los riesgos en ambas instalaciones, validando su eficacia.

Palabras clave: Riesgos en instalaciones, gas natural seco, GLP, análisis de riesgo, medidas de mitigación.

ABSTRACT

The objective of the study was to identify and evaluate the risks associated with the Natural Gas (NG) and Liquefied Petroleum Gas (LPG) installations in the student dining hall of the National University of Engineering (UNI), as well as to develop a mitigation plan to reduce these risks. The research followed a basic approach, descriptive level, and non-experimental design with a comparative nature. The sample consisted of the university dining hall facilities, using a structured observation form as the research instrument. The results showed that LPG presented a higher Risk Level (RL), reaching a value of 200 (Significant) in dimensions such as direct inhalation, fire and explosion, and infrastructure evaluation, while NG remained mostly at a moderate RL (≤ 96). In percentage terms, 70% of significant risks were associated with LPG, while NG accounted for only 30% in moderate risks. In conclusion, the risks were identified and evaluated, establishing that LPG is significantly riskier than NG due to its operational and physicochemical characteristics. The mitigation plan effectively reduced risk levels to acceptable values, validating its efficacy.

Keywords: Risks in installations, natural gas, LPG, risk analysis, mitigation measures.

Tabla de Contenido

<i>Dedicatoria</i>	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
ABSTRACT	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problemática	9
1.3 Formulación del Problema	11
1.3.1 Problema General.....	11
1.3.2 Problemas Específicos	11
1.4 Objetivos de la Investigación	12
1.4.1 Objetivo General	12
1.4.2 Objetivos Específicos.....	12
1.5 Justificación de la Investigación	12
1.5.1 Justificación Práctica	12
1.5.2 Justificación Teórica	13
1.5.3 Justificación Metodológica	13
1.6 Hipótesis de la Investigación.....	14
1.6.1 Hipótesis General	14
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	14
1.7 Identificación de Variables	16
1.8 Operacionalización de Variables.....	16
1.10 Diseño metodológico	21

1.10.1	Enfoque	21
1.10.2	Tipo de investigación	21
1.10.3	Nivel de investigación	22
1.10.4	Diseño de investigación	22
1.10.5	Población y muestra	23
1.10.6	Técnicas e instrumentos para recolección de datos	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL		25
2.1	Marco Teórico	25
2.1.1	Gas licuado de petróleo (GLP).....	25
2.1.2	Gas natural seco (GNS).....	28
2.1.3	Riesgo de las instalaciones de GNS/GLP	34
2.2	Marco Conceptual	40
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....		42
3.1	Metodología del Trabajo de Investigación.....	42
3.2	Caso de Estudio.....	42
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		44
4.1	Descripción de las instalaciones del comedor (GLP).....	44
4.2	Gas natural seco versus GLP	51
4.3	Riesgos entre GNS y GLP	53
4.4	Normativa de instalaciones para GNS y GLP	55
4.5	Análisis de riesgo para GLP	56
4.5.1	Introducción	56
4.5.2	Alcances	57
4.5.3	Finalidad	58
4.5.4	Metodología Usada.....	58
4.5.5	Análisis de riesgo en las instalaciones de GLP del comedor de la	
UNI	66	

4.6	Análisis de riesgo para Gas Natural Seco (GNS)	81
4.7	Resumen de riesgos entre GNS y GLP	83
4.8	Cálculo de principales riesgos en GLP y GNS	85
4.9	Análisis de riesgos	91
4.10	Situaciones con probabilidad de riesgo.....	93
4.11	Medidas de mitigación para GLP	95
4.12	Medidas de mitigación para GNS	110
4.13	Contraste de hipótesis	115
4.13.1	Contraste de la primera hipótesis específica	115
4.13.2	Contraste de la segunda hipótesis específica.....	116
4.13.3	Contraste de la tercera hipótesis específica	117
4.13.4	Contraste de la cuarta hipótesis específica	117
4.13.5	Contraste de la quinta hipótesis específica.....	118
4.13.6	Contraste de la sexta hipótesis específica.....	119
4.13.7	Contraste de la hipótesis general.....	120
4.14	Discusión de resultados	122
CONCLUSIONES.....		129
RECOMENDACIONES		132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		135
GLOSARIO.....		141

Lista de figuras

Figura 1	Plano del comedor universitario de la UNI	44
Figura 2	Ubicación al aire libre de los tanques de GLP	45
Figura 3	Vista en 3D de los tanques.....	46
Figura 4	Tuberías que transportan el GLP.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5	Trazos de las tuberías del comedor.	46
Figura 6	Válvula de presión de GLP	47
Figura 7	Válvula de corte.....	48
Figura 8	Válvula de regulación	49
Figura 9	Válvulas externas de las tuberías.....	50

Lista de tablas

Tabla 1	Matriz de operación de variables	17
Tabla 2	Matriz de consistencia.....	18
Tabla 3	Comparación entre GNS y GLP	51
Tabla 4	Comparación de riesgos entre GNS y GLP	53
Tabla 5	Aspecto normativas en las instalaciones de GNS y GLP	55
Tabla 6	Parámetros del nivel de deficiencia.....	60
Tabla 7	Determinación del Nivel de Exposición	61
Tabla 8	Determinación del Nivel de Probabilidad	62
Tabla 9	Significado de los Niveles de Probabilidad	62
Tabla 10	Determinación del Nivel de Consecuencias.....	64
Tabla 11	Determinación del Nivel de Riesgo y de Intervención	64
Tabla 12	Significado del Nivel de Riesgo (NR) e Intervención (NI).....	65
Tabla 13	Resumen de riesgos identificados en el comedor con instalaciones de GLP	66
Tabla 14	Identificación y análisis de riesgo de inhalación directa para GLP	69
Tabla 15	Identificación y análisis de riesgo de inhalación de gases de mala combustión.....	70
Tabla 16	Identificación y análisis de riesgo de contacto con gas líquido	72
Tabla 17	Identificación y análisis de riesgo de incendio y explosión.....	74
Tabla 18	Identificación y análisis de riesgos en la instalación	76
Tabla 19	Identificación y análisis de riesgo en la evaluación de la infraestructura	77
Tabla 20	Identificación y análisis de otros riesgos	78
Tabla 21	Riesgos identificados por inhalación directa para GNS	81
Tabla 22	Riesgos identificados por inhalación de gases de mala combustión para GN.....	81
Tabla 23	Riesgos identificados por contacto con el GNS	82
Tabla 24	Riesgos identificados por incendio y explosión para GNS	82
Tabla 25	Riesgos identificados en la instalación de GNS.....	82
Tabla 26	Riesgos identificados por evaluación de la infraestructura en GNS.....	82
Tabla 27	Tabla comparativa de principales riesgos identificados para GLP y GNS	83

Tabla 28	Tabla comparativa de análisis de riesgos: inhalación directa	86
Tabla 29	Tabla comparativa de análisis de riesgos: inhalación de gases de mala combustión	87
Tabla 30	Tabla comparativa de análisis de riesgos: Contacto con el Gas	87
Tabla 31	Tabla comparativa de análisis de riesgos: Incendio y Explosión	87
Tabla 32	Tabla comparativa de análisis de riesgos: Riesgos en la instalación...	89
Tabla 33	Tabla comparativa de análisis de riesgos: Evaluación de la infraestructura	90
Tabla 34	Resumen del análisis de riesgos para GLP	91
Tabla 35	Resumen del análisis de riesgos para GNS.....	92
Tabla 36	Probabilidad de riesgo para GLP	93
Tabla 37	Probabilidad de riesgo para GNS	94
Tabla 38	Resumen de las medidas de mitigación.....	95
Tabla 39	Resumen de riesgos identificados según dimensiones del estudio ...	120

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Kosmalski y Myrczec (2018) en su artículo titulado “Factores de riesgo en un proceso de construcción de tuberías de suministro de gas”, presentado en la revista “MATEC Web of Conferences”. El objetivo del artículo fue indicar los grupos de tareas tecnológicas que deben llevarse a cabo al construir una tubería de suministro de gas, los factores de riesgo asociados y el método de control de calidad como una herramienta para mitigar el nivel de riesgo. Su diseño fue exploratorio, de nivel descriptivo, se aplicó a la gestión de riesgos en la construcción especializada, utilizando como ejemplo la construcción de una tubería de suministro de gas de alta presión. Entre los principales riesgos se encontraron: colocación incorrecta de tuberías para el hincado y perforaciones, producción incorrecta de una soldadura – sin aceptación, dejar bloques, escombros, piedras, raíces, etc. en una zanja, prueba incorrecta de una capa de aislamiento por fugas, no encontrar la ubicación de un defecto mediante una inspección DCVG, juntas defectuosas, superando el límite especificado en la licitación, soldadores y/o operadores de equipos de soldadura sin las autorizaciones requeridas, no realizar pruebas no destructivas de juntas (RT, UT, MT, PT), colocación incorrecta de un gasoducto en una zanja (eje y cubierta), cambios no aceptados por un diseñador o un inspector de obras, falta de fiabilidad de los dispositivos utilizados durante la puesta en marcha, montaje incorrecto y colocación de pesos, no colocar pesos sobre geotextil, colisión de una perforación con una infraestructura subterránea, no monitorear los parámetros de soldadura, etc. El estudio concluye indicando que, es necesario utilizar cualquier método que disminuya la probabilidad de ocurrencia de tal evento. El proceso de construcción de la tubería de gas es muy complicado y pueden surgir muchos factores de riesgo. Los factores críticos pueden materializarse en diferentes etapas del proceso de construcción. Por lo tanto, la gestión de riesgos en el proceso es una herramienta adecuada en estos casos. Además, dicho enfoque se utiliza ampliamente en proyectos de construcción de

infraestructuras. Al identificar los principales factores de riesgo en el proceso de construcción de la tubería, se puede intentar gestionarlos. La principal herramienta de gestión de riesgos en la industria es el control de calidad.

Sekhar y Agarwal (2024) en su estudio “Una revisión de las Evaluaciones Cuantitativas de Riesgo para instalaciones de Petróleo y Gas y los cambios en las Técnicas de Evaluación de Riesgos”, presentado en la revista “Materialstoday: Proceedings”, se plantearon como objetivo proporcionar una visión general de los principios y directrices del sistema de gestión de riesgos en proyectos de petróleo y gas. Se analiza comparativamente los criterios de Riesgo Individual (IR) y Riesgo Social (SR) utilizados por varios países como medida del riesgo tolerable, y se discuten las tendencias futuras en las técnicas de evaluación cuantitativa de riesgos (QRA). El estudio siguió un enfoque sistemático para identificar, analizar y controlar los peligros en las instalaciones de petróleo y gas durante su diseño, construcción y operación. Se utilizan métodos como el Análisis de Árbol de Eventos (ETA) para identificar escenarios de fallos y calcular frecuencias de fallo utilizando bases de datos internacionales. Para el análisis de consecuencias, se emplean modelos de dispersión y combustión, y se utiliza software especializado como Shell Shepherd y SAFETI. Entre los resultados, se encontró que las instalaciones de petróleo y gas están inherentemente asociadas a riesgos significativos, como incendios, explosiones y liberaciones de gas. Ejemplos históricos de desastres en esta industria incluyen los incidentes de Bhopal, Flixborough, Piper Alpha y Macondo. Estos eventos han llevado a la creación de regulaciones estrictas como la Directiva Seveso y las Regulaciones COMAH para mejorar la seguridad y la protección ambiental. Además, el análisis de riesgos reveló que las instalaciones deben mantener los niveles de riesgo dentro de los límites tolerables establecidos por regulaciones y estándares corporativos. La identificación de peligros y la evaluación de frecuencias de fallos permiten determinar los contornos de iso-riesgo y comparar los niveles de riesgo con los criterios de tolerabilidad. Las nuevas técnicas, como el modelado de riesgos en 3D a través de CFD y la inclusión de eventos Natech, mejoran la precisión de las evaluaciones de riesgos. Como conclusión,

los accidentes catastróficos han sido cruciales para enfocar la atención en la seguridad y la evaluación de riesgos en la industria del petróleo y gas. Las QRA, originalmente herramientas regulatorias, ahora se utilizan ampliamente para gestionar riesgos y mejorar la seguridad en las principales compañías petroleras, contribuyendo a la adopción de un enfoque centrado en el riesgo y la seguridad.

Oyamienlen, Nwaogazie y Chinemerem (2023) en su investigación sobre “Matriz de riesgos como una herramienta para el análisis de riesgos por peligros laborales en instalaciones offshore en la industria del petróleo y gas”, presentado en “Journal of Scientific Research and Reports”, siguieron el objetivo de investigar la probabilidad de ocurrencia de peligros, el nivel de frecuencia, el nivel de severidad y las consecuencias de los peligros relacionados con el trabajo en instalaciones offshore. El estudio utilizó un diseño transversal para recopilar datos en el área de estudio durante el mismo período, sin manipulación de los datos. Se empleó un método cuantitativo para evaluar e investigar la probabilidad de ocurrencia de peligros, el nivel de frecuencia, la severidad y las consecuencias. El área de estudio incluyó personal que trabajaba en instalaciones offshore en industrias seleccionadas de petróleo y gas en los estados de Akwa Ibom y Rivers en Nigeria. El instrumento utilizado fue un cuestionario bien estructurado enviado a los correos electrónicos de los trabajadores. Las respuestas de los participantes fueron analizadas usando SPSS versión 26, codificando los datos según la escala Likert utilizada. Los resultados mostraron que, de 450 cuestionarios distribuidos, 325 fueron completados correctamente, representando el 72.4%. Los peligros laborales con mayor probabilidad de ocurrencia incluían Viento/Corriente fuerte y Condiciones meteorológicas adversas. El fallo del equipo fue identificado como el accidente más probable de causar lesiones. El análisis de árbol de fallos indicó que las causas raíz incluían conexiones eléctricas deficientes y mantenimiento inadecuado. En conclusión, se clasificaron 12 peligros como de alto riesgo y Viento/Corriente fuerte como extremo. Todos los riesgos offshore identificados tenían consecuencias graves para el personal y las instalaciones, requiriendo la implementación de medidas de seguridad estrictas para controlarlos.

Abdoul et al. (2021) en su artículo “Mitigación de riesgos asociados con la falla de tuberías de gas mediante el uso de un enfoque de gestión cuantitativa de riesgos: un estudio descriptivo sobre la industria del gas”, presentado en la revista “J. Mar. Sci. Eng.”. El estudio se centró en la evaluación de riesgos de un proyecto de tubería de gas natural, utilizando una matriz que integraba la gravedad y la probabilidad de riesgo. Se identificaron riesgos como incendios de chorro y bolas de fuego, con causas potenciales como corrosión, interferencia externa y fallas estructurales. Para evaluar la probabilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto, se realizaron análisis de frecuencia de los riesgos destacados en relación con el proyecto propuesto. El plan de gestión de desastres tenía como objetivo garantizar una respuesta segura y coordinada en caso de emergencia, reduciendo el peligro para la vida humana, el medio ambiente y los recursos comunes. Se concluyó que el riesgo estaba dentro de los límites aceptables, pero se recomendó un enfoque continuo en la seguridad del personal para reducir accidentes. Además, se sugirió un estudio adicional para evaluar la totalidad de los riesgos y compararlos con las instalaciones actuales. El procedimiento de evaluación de riesgos se basó principalmente en la probabilidad de que ocurriera el riesgo detectado, y sus posibles implicaciones se analizaron específicamente a través de escenarios hipotéticos de accidentes. Para la identificación de peligros, se examinó cualitativamente el diseño y las operaciones del proyecto, incluida información relevante de HEGPL. Se analizaron las frecuencias de riesgo en base al estudio de datos históricos de frecuencia de accidentes y se evaluaron profesionalmente con respecto al proyecto propuesto. El plan de gestión de desastres tenía como objetivo gestionar y controlar con éxito las crisis durante las operaciones del proyecto, garantizando un equipo de respuesta a emergencias eficiente y adecuado, roles y responsabilidades definidos, y disponibilidad suficiente de infraestructura y recursos de emergencia.

De la Cruz (2022) realizó el trabajo de investigación titulado “Evaluación de riesgos operativos para el sistema de transporte de gas natural de Aguaytía Energy S.R.L.” su objetivo principal fue evaluar los riesgos operativos para el sistema de transporte de gas

natural de Aguaytia Energy mediante la aplicación de la metodología HAZOP. El método de investigación utilizado fue el método científico, de nivel descriptivo y diseño no experimental - transversal. La técnica de recolección de datos fue el análisis documental. El estudio realizó las observaciones del gasoducto de transporte de gas natural tramo: Planta de gas a Planta de Fraccionamiento. Los resultados fueron que, en el análisis de las Áreas Circulares de Impacto (ACI) en varias zonas, como el Barrio Zona Patria y las urbanizaciones adyacentes, mostró que, aunque el ducto de 12" de NG tiene el mayor radio de impacto (85.64 m), las condiciones actuales no cumplen con los criterios para ser considerados Áreas de Alta Consecuencia (HCA). Esto se debe a que no se identificaron más de 20 viviendas ni localizaciones identificadas dentro de las ACI. Asimismo, en la urbanización cercana, aunque el ducto atraviesa la zona poblada, las viviendas se encuentran a una distancia segura de 15 metros. Por otro lado, en la Urbanización San Fernando, se identificó un salón de Usos Múltiples ubicado en el límite del área de impacto, lo cual constituye un sitio identificado. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional dinámico, se recomienda desarrollar procedimientos para la identificación de nuevas HCA en futuras etapas del Programa de Gerenciamiento de Integridad de Ductos. De igual manera, las Zonas 2 y 4 no fueron consideradas HCA, ya que las edificaciones más cercanas se encuentran a más de 300 metros del trazado de las líneas. Finalmente, aunque ninguno de los sitios evaluados fue clasificado como HCA utilizando el método B del Decreto Supremo 081-2007-EM, al aplicar el método A, se identificaron tres segmentos en clase de trazado 3 como Áreas de Alta Consecuencia. Estos segmentos, ubicados entre Pta. Gas Aguaytía y Pta. Frac. Pucallpa, comprenden tanto ductos de NGL como de gas, con longitudes de 440 y 570 metros respectivamente. El estudio concluyó que los riesgos operativos más prevalentes fueron la corrosión externa, la corrosión interna y los daños causados por causas naturales, destacando la importancia de la metodología HAZOP para identificar y evaluar estos riesgos de manera efectiva.

Silva, Contreras y Barrandeguy (2022) realizaron el siguiente trabajo de investigación titulado "Riesgo por fugas accidentales de gas licuado de petróleo hacia

trabajadores y comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén (Chile)” El objetivo principal del estudio fue evaluar y caracterizar los riesgos asociados a fugas de GLP en zonas urbanas, identificando las potenciales amenazas para la salud de los trabajadores y la comunidad, así como las consecuencias de dichas fugas. El estudio empleó una combinación de metodologías cualitativas y cuantitativas. Entre las metodologías cualitativas se utilizaron NTP 937 (2012) para evaluar el riesgo por inhalación para trabajadores cerca de los estanques, y APELL para evaluar las consecuencias de una fuga de GLP sobre la comunidad y los trabajadores. En cuanto a las metodologías cuantitativas, se utilizó Slab View para modelar el comportamiento espacial y temporal de las fugas de GLP. El estudio se realizó en las áreas urbanas de Cabrero, La Laja, Mulchén y Nacimiento, con una población total de aproximadamente 84,739 habitantes según el censo de 2012. Se identificaron y evaluaron 41 estanques de GLP distribuidos en estas ciudades. Para los resultados, en cuanto a la identificación de estanques, se encontraron 41 estanques de GLP: 10 en Cabrero, 8 en La Laja, 15 en Mulchén, y 8 en Nacimiento. La mayoría de los estanques de 4 m³ se ubicaron en supermercados, centros educacionales, condominios, iglesias y hoteles. La evaluación de riesgos por inhalación (NTP 937) reveló que el riesgo fue moderado en 8 de los 9 puestos de trabajo evaluados. El puesto con mayor riesgo fue el de trabajador doméstico, con una puntuación de riesgo moderado y una prioridad de acción clase 2. La evaluación de riesgos comunitarios (APELL) mostró que, en las cuatro ciudades, las fugas de GLP tendrían efectos graves (prioridad clase C) o limitados (prioridad clase B). En Cabrero, el 40% de los sitios presentaron riesgo clase C y el 60% clase B, con resultados similares en las otras ciudades. El modelado de fugas (Slab View) no identificó riesgos de intoxicación aguda, ya que las concentraciones peligrosas (>10,000 ppm) no superaron los tiempos de exposición de 10 minutos sugeridos por los AEGL. Sin embargo, se identificaron situaciones con concentraciones de 19,000 ppm que podrían ocasionar deflagraciones y explosiones. El estudio concluyó que, si bien no existen riesgos inmediatos de intoxicación por fugas de GLP, es necesario implementar medidas correctoras y realizar evaluaciones más detalladas, especialmente en entornos

cerrados como residencias y ciertos puestos de trabajo. Las fugas de GLP representan un riesgo significativo para la comunidad y los trabajadores, particularmente en instalaciones con alta densidad de personas, como centros educativos y hospitales.

Jurado y Torres (2022) realizaron el siguiente trabajo de investigación titulado “Análisis de la seguridad en el abastecimiento de gas natural en Colombia en un medio plazo (2032)” El estudio va hasta el año 2032 ya que el análisis fue un pronóstico a mediano plazo, por ello se enfocó en analizar el balance entre la oferta y la demanda de gas natural en Colombia a me, construyendo diversos escenarios para prever el abastecimiento de este energético a mediano plazo. Además, se realizó un análisis de riesgo para evaluar las posibles consecuencias de una desalineación entre la oferta y la demanda. Se utilizaron tanto metodologías cualitativas como cuantitativas. Entre las cualitativas, se revisaron políticas y regulaciones recientes, mientras que las cuantitativas incluyeron la modelización de escenarios utilizando datos históricos y proyecciones futuras. Se consideraron distintos escenarios de oferta y demanda, evaluando factores como nuevos contratos de exploración, producción local y potenciales importaciones. El análisis abarcó a nivel nacional, considerando la capacidad de producción interna y las importaciones necesarias para satisfacer la demanda proyectada en diferentes sectores: transporte, industrial, residencial, y termoeléctrico, entre otros. Los datos se recopilaban de diversas fuentes oficiales, incluyendo la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREE) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Se modelaron diferentes escenarios de oferta y demanda, evaluando variables como la producción interna, importaciones, y nuevos proyectos de exploración y producción. Los resultados mostraron que, sin un incentivo para la exploración y producción de gas natural, Colombia necesitará importaciones constantes desde 2026 y podría enfrentar racionamientos a partir de 2028-2029 sin nuevas reservas ni instalaciones de importación. Los escenarios de descarbonización, que suponen un aumento en el consumo de gas en los sectores de transporte e industrial, indican que estos sectores podrían ver un incremento sustancial en comparación con el escenario base (BAU), que muestra

estancamiento. En los escenarios de descarbonización, se observó un crecimiento en el consumo de gas en transporte e industria, mientras que el sector termoeléctrico mostró un decrecimiento significativo debido a la transición hacia energías renovables. En contraste, el escenario BAU mostró un estancamiento en casi todos los sectores, excepto el termoeléctrico. El estudio concluyó que es crucial reactivar la exploración y producción de gas natural para evitar futuros racionamientos y asegurar el abastecimiento energético. Además, se destacó la necesidad de políticas claras y firmes por parte del gobierno para fomentar la confianza en la disponibilidad futura de gas natural, especialmente en sectores clave como el transporte y la industria. También se subrayó la importancia de explorar nuevas opciones de importación, como la cooperación con Venezuela, y de evaluar los impactos económicos de un posible impuesto al carbono más elevado para promover el uso del gas natural frente a otros combustibles fósiles.

Venegas et al., (2018) realizaron el siguiente trabajo de investigación titulado “El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador” su objetivo principal fue medir el GLP remanente devuelto en cilindros por usuarios comerciales e industriales y evaluar los riesgos asociados al uso de cilindros versus tanques estacionarios. La metodología que utilizó fue de diseño descriptivo y observacional, de nivel exploratorio y descriptivo; además utilizó la ficha de observación como instrumento. Para ello, se pesaron los cilindros antes de su uso y después de vaciarlos utilizando una balanza GTC de 150 kg con una sensibilidad de 50 g. El estudio abarcó veinte usuarios en Ecuador durante un mes: ocho con cilindros de 15 kg y doce con cilindros de 45 kg. Los cilindros de 15 kg devolvieron un promedio de 3.82 kg de GLP (25.49 % de su capacidad), mientras que los cilindros de 45 kg devolvieron un promedio de 9.69 kg (21.54 % de su capacidad). La inspección de seguridad mostró diversas deficiencias: seis usuarios no cumplían con las distancias de seguridad hacia fuentes de llama abierta; catorce almacenaban cilindros en áreas sin ventilación adecuada; ocho excedían el número máximo de cilindros permitidos; y siete tenían niveles de fuga de gas superiores al permitido. Además, trece usuarios carecían de extintores, y de los que sí tenían, cuatro estaban caducados. Dieciocho usuarios no

disponían de detectores de fugas de gas; siete tenían accesorios en mal estado; y diecisiete no contaban con planes de emergencia. En conclusión, el uso de tanques estacionarios ofrece ventajas económicas y de seguridad significativas sobre el uso de cilindros. Los usuarios que han migrado a tanques estacionarios no devuelven remanentes de GLP, lo que implica un ahorro económico y una mayor seguridad al reducir la manipulación frecuente de los cilindros.

1.2 Problemática

Según la Sociedad Peruana de Hidrocarburos (SPH, 2025), la producción de petróleo para marzo del 2024 fue de 41 MBPD, representando 96 millones de dólares en regalías y 197 millones de soles producto del canon. Esto convierte a la industria de los hidrocarburos juega un papel crucial en las actividades económicas del país, debido a su influencia en los principales indicadores económicos relacionados con el crecimiento y desarrollo, y su importancia en el escenario energético global (SPH, 2025). Dentro de esta industria el petróleo y el gas natural seco (GNS) son combinaciones de compuestos orgánicos compuestos por carbono e hidrógeno, presentándose en estado líquido (petróleo) y gaseoso (GNS). Estos se forman en yacimientos subterráneos de roca sedimentaria, donde se encuentran mezclados con otros elementos. Para su comercialización, ambos deben ser procesados (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinermin], 2017, p. 30). No obstante, por su composición química el GLP es más peligroso en términos de manejo debido a su mayor volatilidad y capacidad para formar mezclas explosivas en el aire. Mientras que el GNS, al ser menos denso que el aire, se dispersa rápidamente en caso de fuga, reduciendo el riesgo de explosión en comparación con el GLP (Osinermin, 2017, pp. 30-40).

Esta mayor peligrosidad del GLP a diferencia del GNS, ha causado varios accidentes muy lamentables en el país. Un ejemplo de esta peligrosidad fue la tragedia ocurrida el 23 de enero de 2020 en el distrito de Villa El Salvador, departamento de Lima, en el cual un incendio urbano causado por la deflagración de una fuga masiva de GLP desde un camión cisterna resultó en 34 personas fallecidas, 26 heridas, 159 personas

afectadas y numerosos daños materiales (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2020). Otro desastre reciente fue también la explosión de un grifo de la empresa GESA, ubicada en GESA, la cual resultó en 282 acuerdos de indemnización para las familias, debido a daños en sus viviendas (superando el millón de soles) (INFOBAE, 2024); además de provocar 2 fallecidos y más de 50 heridos (Gobierno del Perú, 2024). Las causas de esta deflagración, hasta la fecha no son claras, pero se hipotetiza que se debe a la grieta y cambio de presión de uno de los balones de gas, que estaban defectuosos y tiene dudosa procedencia, que junto con la oxidación y mal manejo del personal causaron la tragedia (Velito, 2024).

Retomando el uso del GLP y GNS, a inicios del 2024 en la capital, Lima, solo el 34% de los hogares tienen conexión a GNS, principalmente en hogares de un nivel socioeconómico bajo y medio (Bessombes, 2024). Ello a pesar de que el GNS se viene instalando desde el 2004 (Velito, 2024); asimismo, otra de las diferencias del GLP y GNS, es que el GNS es mucho más barato y ecológico que el derivado del petróleo (Osinergmin, 2017); por ello su predilección para ser instalado dentro del comedor de la UNI.

En este sentido, la Universidad Nacional de Ingeniería necesita ser abastecida con gas natural seco. Esta necesidad surge debido a que el comedor estudiantil se encuentra en proceso de ampliación de su capacidad de producción, al mismo tiempo que continúa atendiendo a los usuarios de manera ininterrumpida. Actualmente, el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería utiliza GLP en sus artefactos térmicos. El GLP requiere ser adquirido con varios meses de anticipación para satisfacer la alta demanda del comedor estudiantil. Además, su precio varía considerablemente dependiendo de la situación política o climática del país, lo que puede complicar su gestión y suministro.

Además, como fue mencionado el GLP presenta mayores riesgos en comparación con el gas natural seco (GNS). El GNS no solo es más seguro, sino también más económico y ambientalmente amigable. Por estas razones, el cambio a GNS no solo reduciría los riesgos asociados al uso de GLP, sino que también ofrecería una solución

más sostenible y económica para el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Por esta razón es prescindible evaluar los riesgos al momento de la instalación de GNS dentro del comedor; y a su vez armar un plan de mitigación de estos riesgos para asegurar que la transición de GLP a GNS sea lo más efectiva y eficiente posible.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI y cómo realizar un plan de mitigación de los riesgos en instalaciones?

1.3.2 Problemas Específicos

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI?

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI?

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI?

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI?

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI?

¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI y realizar un plan de mitigación de los riesgos en instalaciones.

1.4.2 Objetivos Específicos

Describir riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI.

Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI.

Evaluar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI.

Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI.

Evaluar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI.

Describir los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI.

1.5 Justificación de la Investigación

1.5.1 Justificación Práctica

La presente investigación se justifica de manera práctica debido a los evidentes beneficios que el cambio de combustible de GLP a GNS podría traer al comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). En primer lugar, el GLP, aunque eficiente, es más costoso y requiere una logística compleja para su adquisición y almacenamiento, implicando la necesidad de compras anticipadas y un manejo cuidadoso para evitar desabastecimientos. Por otro lado, el gas natural seco (GNS) es una alternativa más económica y segura, que puede ser suministrada de manera continua a través de una red de tuberías, eliminando los problemas de almacenamiento y compra anticipada. La instalación de tuberías de gas natural no solo reducirá los costos operativos del comedor

estudiantil, sino que también incrementará la seguridad de los usuarios, al minimizar los riesgos asociados con el manejo y almacenamiento de GLP. Las autoridades de la UNI han manifestado su apoyo a este proyecto, reconociendo los beneficios económicos y de seguridad que conlleva la conexión a la red de distribución de Cálidda.

1.5.2 Justificación Teórica

Desde una perspectiva teórica, este estudio contribuye significativamente al cuerpo de conocimiento existente sobre la gestión de riesgos en instalaciones de GNS y GLP. La investigación proporciona una evaluación exhaustiva de los riesgos asociados con el uso de GLP y GNS en contextos similares al de la UNI, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en este campo. Además, al comparar ambos combustibles y sus implicaciones prácticas, se generarán nuevos conocimientos sobre las mejores prácticas en la instalación y operación de sistemas de gas en entornos educativos. Este análisis teórico no solo beneficiará a la comunidad académica de la UNI, sino que también puede ser aplicado en otros contextos similares, proporcionando un marco de referencia útil para otras instituciones que consideren realizar transiciones similares.

1.5.3 Justificación Metodológica

Metodológicamente, este estudio es fundamental para establecer un plan de mitigación de riesgos efectivo en la transición de GLP a GNS en el comedor estudiantil de la UNI. La investigación se llevará a cabo utilizando un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión integral de la situación actual y los riesgos potenciales. El diseño descriptivo simple-comparativo permitirá comparar las condiciones antes y después de la instalación de las tuberías de gas natural, evaluando la efectividad del plan de mitigación propuesto. La aplicación de técnicas de observación y el uso de fichas de análisis de riesgo proporcionarán datos cuantitativos precisos que sustentarán las recomendaciones finales. Este enfoque metodológico garantiza que las conclusiones y recomendaciones del estudio sean basadas en evidencia sólida, proporcionando un modelo replicable para la gestión de riesgos en instalaciones similares.

1.6 Hipótesis de la Investigación

1.6.1 Hipótesis General

Los riesgos presentes en las instalaciones de GLP/GNS del comedor estudiantil de la UNI están asociados principalmente a la inhalación directa de gas, inhalación de gases producto de una mala combustión, contacto con el gas en estado líquido, riesgo de incendio o explosión, deficiencias en la instalación y fallas en la infraestructura. Se plantea que, mediante la implementación de un plan de mitigación adecuado, será posible reducir significativamente estos riesgos tanto en las actuales instalaciones de GLP como en las nuevas instalaciones de GNS.

1.6.2 Hipótesis Específicas

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de ventilación y la presencia de olores característicos.

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI, son la concentración de CO, eficiencia de la combustión y presencia de hollín o residuos.

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI, son el almacenamiento de gas líquido, estado de los recipientes y protección contra derrames.

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de fuga de gas, la existencia de sistemas de detección y extinción y las condiciones de las instalaciones eléctricas.

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI, son la calidad de las conexiones, la resistencia de las tuberías y la adecuación del espacio de instalación.

Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI, son las condiciones estructurales del área de almacenamiento, calidad del sistema de ventilación y protección contra incendios.

Si se realiza una evaluación integral de los riesgos asociados a las instalaciones de GLP y a las futuras instalaciones de GNS en el comedor estudiantil de la UNI, entonces será posible diseñar e implementar un plan de mitigación que permita reducir de manera efectiva dichos riesgos y garantizar la seguridad operativa del sistema.

1.7 Identificación de Variables

La variable del estudio es: Riesgos por instalación de GNS/GLP

1.8 Operacionalización de Variables

En la Tabla I se muestra la matriz de operación de variables.

Tabla 1

Matriz de operación de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Descripción	Instrumento
Riesgo en las instalaciones de GNS/GLP	Grado de exposición al peligro en las instalaciones de GNS/GLP que podría resultar en accidentes o daños.	Evaluación de condiciones y prácticas de seguridad en las instalaciones de GNS/GLP	Inhalación directa	Nivel de ventilación	Anemómetro	Ficha de observación
				Presencia de olores característicos	Inspección sensorial	
			Inhalación de gases procedentes de la mala combustión	Concentración de CO	Detector de monóxido de carbono	
				Eficiencia de la combustión	Analizador de gases	
				Presencia de hollín o residuos	Inspección visual	
			Contacto con el gas líquido	Almacenamiento de gas líquido	Inspección visual, registro de almacenamiento	
				Estado de los recipientes	Inspección visual, ficha técnica	
				Protección contra derrames	Inspección visual	
			Incendio y explosión	Nivel de fuga de gas	Detector de fugas	
				Existencia de sistemas de detección y extinción	Inspección visual, ficha técnica	
				Condiciones de las instalaciones eléctricas	Inspección visual, ficha técnica	
			Riesgos en la instalación	Calidad de las conexiones	Inspección visual, ficha técnica	
				Resistencia de las tuberías	Pruebas de presión	
				Adecuación del espacio de instalación	Inspección visual	
			Evaluación de la infraestructura	Condiciones estructurales del área de almacenamiento	Inspección visual, ficha técnica	
				Calidad del sistema de ventilación	Pruebas de flujo de aire	
				Protección contra incendios	Inspección visual, ficha técnica	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable/Dimensión	Metodología
Problema general: ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI y cómo realizar un plan de mitigación de los riesgos en instalaciones? Problemas específicos: • ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI? • ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI? • ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI? • ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI?	Objetivo general: Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI y realizar un plan de mitigación de los riesgos en instalaciones. Objetivos específicos: • Describir riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI. • Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI. • Evaluar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI. • Identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI. • Evaluar los riesgos de las instalaciones de GNSGLP, asociados directamente con la	Hipótesis general: Los riesgos presentes en las instalaciones de GLP/GNS del comedor estudiantil de la UNI están asociados principalmente a la inhalación directa de gas, inhalación de gases producto de una mala combustión, contacto con el gas en estado líquido, riesgo de incendio o explosión, deficiencias en la instalación y fallas en la infraestructura. Se plantea que, mediante la implementación de un plan de mitigación adecuado, será posible reducir significativamente estos riesgos tanto en las actuales instalaciones de GLP como en las nuevas instalaciones de GNS. Hipótesis específicas: • Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de ventilación y la presencia de olores característicos. • Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI, son la concentración de CO, eficiencia de la combustión y presencia de hollín o residuos. • Los riesgos de las instalaciones de GNSSGLP, asociados a con el contacto con el gas líquido, en el	Variable: Riesgos en instalaciones de GNS/GLP Dimensiones: • Inhalación directa • Inhalación de gases procedentes de la mala combustión • Contacto con el gas líquido • Incendio y explosión • Riesgos en la instalación • Evaluación de la infraestructura	Tipo: Básica Diseño: No experimental, descriptivo simple, comparativo Nivel: Descriptivo Población y muestra: Comedor de la UNI Técnica: Observación Instrumento: Ficha de observación

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable/Dimensión	Metodología
• ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI? • ¿Cuáles son los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI?	instalación, en el comedor estudiantil de la UNI. • Describir los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI.	comedor estudiantil de la UNI, son el almacenamiento de gas líquido, estado de los recipientes y protección contra derrames. • Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de fuga de gas, la existencia de sistemas de detección y extinción y las condiciones de las instalaciones eléctricas. • Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI, son la calidad de las conexiones, la resistencia de las tuberías y la adecuación del espacio de instalación. • Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI, son las condiciones estructurales del área de almacenamiento, calidad del sistema de ventilación y protección contra incendios. • Si se realiza una evaluación integral de los riesgos asociados a las instalaciones de GLP y a las futuras instalaciones de GNS en el comedor estudiantil de la UNI, entonces será posible diseñar e implementar un plan de mitigación que permita reducir de manera efectiva dichos		

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable/Dimensión	Metodología
		riesgos y garantizar la seguridad operativa del sistema.		

Nota: Elaboración propia.

1.10 Diseño metodológico

1.10.1 Enfoque

Según Hernández et al. (2014) el enfoque mixto en investigación se refiere a la integración de métodos cuantitativos y cualitativos dentro de un mismo estudio. Este enfoque permite aprovechar las fortalezas de ambos tipos de métodos para proporcionar una comprensión más completa del fenómeno estudiado. La combinación de datos cuantitativos (numéricos) y cualitativos (narrativos) permite abordar el problema de investigación desde múltiples perspectivas, enriqueciendo el análisis y la interpretación de los resultados. Este enfoque es especialmente útil cuando se busca obtener una visión holística y detallada de la problemática investigada, integrando la objetividad de los datos cuantitativos con la profundidad contextual de los datos cualitativos.

El enfoque mixto se utilizó en esta investigación debido a su capacidad para proporcionar una comprensión integral y detallada del análisis de riesgo de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI. Combinando la precisión de los métodos cuantitativos con la profundidad de los cualitativos, se obtuvieron datos objetivos sobre los riesgos y su magnitud, así como una comprensión contextual de las circunstancias específicas a través de observaciones. Esta combinación permitió identificar y evaluar los riesgos de manera precisa, entender sus causas y percepciones, y desarrollar estrategias de mitigación efectivas y adaptadas a las necesidades del comedor.

1.10.2 Tipo de investigación

Es descriptivo, Sánchez, Reyes y Mejía (2018) afirman que esta categoría tiene como finalidad describir un hecho, proceso o realidad. Ésta es un tipo de investigación que frecuentemente se combina con la investigación exploratoria, siendo muy útil para trazar observaciones bajo un punto de vista científico. No tiene como finalidad dar explicación a lo que ocurre, pero representa un punto de partida para la investigación ulterior, que sí lo hace.

Esta investigación es de tipo descriptivo, ya que el objetivo principal es identificar los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI y proponer

un plan de mitigación. Se enfoca en examinar y detallar los riesgos asociados a estas instalaciones, proporcionando una caracterización que permite establecer medidas preventivas y correctivas, sin profundizar en el análisis causal de dichos riesgos.

1.10.3 Nivel de investigación

El análisis fue de nivel descriptivo, según Tacillo (2017) permite indagar sobre las variables de un estudio de forma minuciosa con el fin de detallar los componentes que posee, de forma general y particular, desarrollando un estudio sustantivo. Por lo tanto, se analizarán las variables y sus componentes de forma minuciosa.

Esta investigación fue de nivel descriptivo porque se enfocó en describir y caracterizar los riesgos asociados a las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI. En lugar de buscar explicar relaciones causales o predecir fenómenos, el objetivo principal fue proporcionar una comprensión detallada y precisa de la situación actual de los riesgos presentes en estas instalaciones.

1.10.4 Diseño de investigación

Se utilizó el diseño descriptivo simple - comparativo. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desee en una investigación. En otras palabras, el diseño es la estructura o el enfoque metodológico que se utiliza para recopilar datos y responder a las preguntas de investigación. Existen diferentes tipos de diseños, y cada uno se adapta a las necesidades específicas del estudio que se va a realizar. Uno de los tipos de diseño es el descriptivo simple, que se caracteriza por observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural y analizarlos posteriormente sin manipular las variables expuestas. Por otro lado, el diseño comparativo implica comparar dos o más grupos o situaciones para identificar similitudes y diferencias entre ellos.

Este diseño, fue elegido porque proporcionaba un marco metodológico adecuado para describir, comparar y analizar los riesgos de manera sistemática y estructurada en el contexto del comedor estudiantil de la UNI.

Bajo esa premisa, se muestra el esquema donde se puede evidenciar una síntesis del diseño de la investigación (Espinoza, 2010):

M1-----O₁

M2-----O₂

Donde:

M1: Instalaciones de GNS (Gas natural seco)

M2: Instalaciones de GLP (Gas Licuado de Petróleo)

O1: Observación de los riesgos en instalaciones de GNS

O2: Observación de los riesgos en instalaciones de GLP

1.10.5 Población y muestra

La población es el conjunto de sujetos, individuos, objetos, cosas y demás elementos que el investigador tiene interés de indagar (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En esta investigación, la población, estuvo conformado por el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La muestra de la investigación es un subconjunto representativo de la población que se debe usar para llevar a cabo observaciones y medir con el fin de obtener información sobre las variables del estudio (Bernal, 2010). Así pues, el tamaño de la muestra incluyó el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La técnica de muestreo fue no probabilística. Esta técnica consiste que el investigador seleccione sus muestras basado en su buen juicio subjetivo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

1.10.6 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Se aplicó la observación, Tacillo (2017) señala que facilita la recolección de data, pues fomenta el uso de los sentidos para observar la realidad y los distintos sucesos sociales que se dan dentro de un contexto, analizando de forma sistemática el proceso por investigar.

El instrumento fue la ficha de cotejo u observación. El mismo autor Solórzano (2003), son uno de los instrumentos más reconocidos en la ingeniería. Su objetivo es

documentar por escrito todas las observaciones realizadas, asegurando así la constancia detallada y precisa de los aspectos evaluados.

En este caso, la ficha de análisis de riesgo se diseñó en función de las dimensiones e indicadores específicos a evaluar, permitiendo una constancia precisa y estructurada de todos los aspectos relacionados con los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Gas licuado de petróleo (GLP)

A. Propiedades del Gas Licuado de Petróleo. El GLP cuenta con las propiedades siguientes:

El gas licuado de petróleo (GLP) suele estar bajo presión y se maneja a temperaturas superiores a su punto de ebullición. Una vez liberado, se evapora con rapidez y, al ser más denso que el aire, tiende a acumularse en zonas bajas y cercanas al suelo. En caso de estar en presencia de una fuente de ignición, puede provocar una explosión e incendio repentino (Venegas et al., 2023).

El gas GLP, cuando se encuentra concentrado entre 2% y 10% en forma de vapor, puede generar un compuesto explosivo (Venegas et al., 2023).

Está compuesto mayormente por butano (C_4H_{10}) y propano (C_3H_8), acompañados de cantidades pequeñas de otros compuestos como etano y pentano, y se obtiene como resultado secundario del gas natural y petróleo crudo posterior a su refinación y producción (Venegas et al., 2023).

El GLP tiene un alto nivel de calor en comparación con otras fuentes de energía, con un poder calorífico superior de aproximadamente 50.3 MJ/m³ o 12,000 kcal/m³ (Venegas et al., 2023).

Su estado gaseoso depende del estado ambiental.

Su estado líquido se caracteriza por su peso de 0.55 kg/m³ DENSIDAD

B. Almacenamiento del Gas Licuado de Petróleo. El GLP se almacena en recipientes o contenedores en estado líquido, pero se utiliza generalmente en estado gaseoso. Antes de su uso, se produce una vaporización natural dentro de los recipientes (Venegas et al., 2023).

Tipo de recipientes. Los envases pueden ser categorizados según su tamaño en envases portátiles, como los cilindros, o envases estacionarios, como los tanques. Ambos

tipos tienen distintas características que los hacen diferentes en cuanto a sus usos y aplicaciones (Venegas et al., 2023).

Tamaño de recipientes. Para calcular cuánto espacio de almacenamiento se necesita en un sistema de GLP, es importante considerar la cantidad de combustible que requieren los equipos de consumo y el periodo de máxima demanda (Venegas et al., 2023).

Tamaño de los cilindros. Los cilindros disponibles para almacenamiento varían en capacidades estándares, con opciones de 10 kg, para uso residencial, y 45 kg para uso comercial. También existen modelos de 5 y 15 kg disponibles (Venegas et al., 2023). Una forma de calcular el número de cilindros es mediante la proporción de evaporación, tal como se indica en la fórmula (Venegas et al., 2023):

$$N = \frac{P_{it}}{R_v}$$

Considerando que N representa el número de cilindros, P_{it} la potencia que se instaló, y R_v la razón de vaporización.

Tamaño de tanques estacionarios. La ecuación señala la habilidad natural de un recipiente estacionario de almacenamiento de GLP para evaporarse (Venegas et al., 2023).

$$Q = p \cdot S \cdot K \cdot \frac{(T - T_g)}{CLV}$$

Considerando que Q es la representación de la capacidad de vaporización, p la representación del combustible líquido, S los metros cuadrados de la superficie del recipiente, K el coeficiente de transmisión, T la temperatura, y CLV el calor constante de vaporización (Venegas et al., 2023).

En los edificios de uso residencial con múltiples usuarios, se utiliza un factor de simultaneidad para disminuir la demanda máxima durante el horario de mayor consumo, considerando que no todos los usuarios utilizan el servicio de combustible al mismo tiempo (Venegas et al., 2023).

Vaporizadores. Cuando la cantidad de gas que pueden suministrar naturalmente los recipientes no es suficiente para satisfacer la demanda de la instalación, es necesario utilizar un vaporizador para forzar la vaporización. Este equipo recibe GLP líquido desde el recipiente y lo convierte en gas para alimentar el servicio (Venegas et al., 2023).

Ubicación de recipientes. Los tanques de almacenamiento de gas licuado de petróleo deben ser colocados fuera de los edificios, ya sea en la superficie o enterrados. En caso de instalarse en la superficie, es necesario que sea en áreas abiertas y bien ventiladas, además de contar con medidas de seguridad y señalización correspondientes (Venegas et al., 2023).

Ubicación en terrazas. Una situación particular de colocación de recipientes en una superficie es la instalación en terrazas, lo cual exige cumplir con ciertos requisitos específicos (Venegas et al., 2023):

Es importante asegurarse de que la azotea pueda soportar el peso del recipiente lleno de agua antes de colocarlo allí. También es fundamental realizar pruebas de mantenimiento preventivo en el recipiente, como una prueba hidrostática, para garantizar su buen funcionamiento.

Pensar en la posibilidad de colocar un pararrayos que proteja la zona de almacenamiento de gas licuado de petróleo.

La conexión a tierra del recipiente debe ser separada de la conexión a tierra de la estructura.

Pensar en colocar un BIE en una zona accesible de la terraza.

Poner en funcionamiento una conexión de agua para llevar a cabo la prueba hidrostática del contenedor.

Ubicación de recipientes enterrados. En esta ubicación se deben considerar varios aspectos importantes, tales como los siguientes (Venegas et al., 2023):

Es importante tener en cuenta las particularidades del suelo donde se va a instalar el recipiente para aplicar protecciones eléctricas mediante ánodos o cátodos de sacrificio.

Es necesario asegurar que los recipientes estén bien fijados a bases estables y niveladas para prevenir que se desplacen o floten durante una inundación.

Los contenedores deben estar listos para ser enterrados cuando salgan de la fábrica, con pintura protectora, espacio para herramientas de control y llenado, y accesibles desde el exterior.

Ubicaciones incorrectas.

Los contenedores de gas licuado de petróleo no deben estar situados en las siguientes circunstancias.

Lugares que no puedan ventilarse.

Sótanos.

En la parte inferior de las edificaciones.

En áreas de estacionamiento y espacios donde se encuentren elementos que puedan aumentar la probabilidad de desastres como la BLEVE, una explosión repentina de combustible al cambiar de estado de líquido a gas, es importante tomar precauciones adicionales.

Evitar colocar los recipientes en áreas propensas a acumulación de desechos, almacenamiento de grasas y aceites, así como en lugares con materiales que puedan provocar incendios cercanos a los recipientes.

2.1.2 Gas natural seco (GNS)

A. Composición del Gas natural seco. La composición del gas natural seco afecta su calidad, ya que esta depende de los hidrocarburos gaseosos presentes y de otras sustancias no deseadas en la corriente de gas. Dicha composición asegura su comportamiento dentro de las tuberías y equipos, así como en su proceso de combustión. Es preferible que el gas esté compuesto en su mayoría por hidrocarburos livianos, como metano y etano, ya que, a pesar de tener un menor poder calorífico que los gases de mayor densidad, presentan menos complicaciones en su transporte y uso (Díaz, s.f.).

Cuando se menciona el transporte de gas natural, se refiere a un gas seco, es decir, que todo el flujo se encuentra en fase gaseosa. Por otro lado, existen tuberías como las de

recolección de pozos o campos de producción, que llevan una mezcla de gases y líquidos, presentando flujo en dos fases. Cuando se transporta gas, la presencia de líquidos no es deseable (Díaz, s.f.).

La presencia de líquidos en el gas provoca cambios significativos en su comportamiento durante la combustión. Cuando se trata de líquidos no inflamables, como el agua, afectan la eficiencia de los quemadores, pueden apagar las llamas y generar fluctuaciones en las presiones de suministro a los equipos. Los líquidos combustibles pueden causar problemas en los dispositivos de combustión y provocar explosiones debido a su alto nivel de energía en comparación con el gas. Los líquidos combustibles pueden causar problemas en los dispositivos de combustión y provocar explosiones debido a su alto nivel de energía en comparación con el gas (Díaz, s.f.).

La presencia de líquidos en los gasoductos de transporte está determinada por las propiedades de los componentes que los conforman. Es crucial tener en cuenta que el gas natural seco está compuesto principalmente por metano y etano, que son hidrocarburos livianos, y no contiene cantidades significativas de hidrocarburos más pesados como el propano o el butano, los cuales suelen eliminarse durante el procesamiento del gas. Por lo tanto, un gas natural seco con altas concentraciones de estos componentes tendrá un punto de rocío más bajo (Díaz, s.f.).

Dado que la licuefacción de los componentes del gas natural seco depende de la presión de operación, en caso de que el gas contenga hidrocarburos más densos, es necesario elegir entre eliminarlos para el transporte o disminuir la presión del gasoducto por debajo de un punto que pueda provocar condensación en la tubería a las temperaturas a las que circula el gas. Los sólidos también pueden causar problemas en el transporte, ya que pueden ser desde polvillos ligeros hasta cuerpos extraños dentro de un gasoducto. Estos pueden ser resultado de descuidos en el control de calidad en la construcción, interferencia malintencionada de terceros o trabajadores, y pueden obstaculizar el paso de los raspadores por las tuberías (Díaz, s.f.).

Frecuentemente, el gas contiene partículas sólidas de tamaño pequeño, las cuales pueden ser del propio gas, arrastradas desde los pozos de gas o provenir de residuos dejados en los ductos durante su construcción, reparaciones u operación. Es importante utilizar métodos adecuados de limpieza interior de las tuberías para eliminar los residuos de polvo y otros sólidos de la construcción. Es preferible gastar un poco más en la limpieza para evitar los problemas potenciales que la suciedad pueda causar a los clientes en el futuro (Díaz, s.f.).

Cuando se producen partículas sólidas durante la operación que no vienen de los pozos, suelen ser compuestos de hierro que provienen de las tuberías y que se desprenden debido a la velocidad del gas o a la reacción con algunos de sus componentes o los contaminantes presentes en él (Díaz, s.f.).

Algunas sustancias que ocasionalmente están presentes en el gas pueden reaccionar con la humedad o en ciertas circunstancias para crear ácidos que corroen el metal. Generalmente, los polvos y otros materiales sólidos pequeños que transporta la corriente de gas no afectan el flujo en sí, pero pueden causar daños a las paredes de los conductos, especialmente en las curvas y en cualquier cambio de dirección en las estaciones. La combinación de la velocidad del gas con los polvos o la arena puede tener un efecto similar a un chorro de arena en el interior de la tubería (Díaz, s.f.).

La existencia de partículas sólidas en el gas repercute no solo en el sistema de transporte, sino también en los usuarios (Díaz, s.f.). Además de los posibles daños por desgaste que el gas contaminado puede causar en las tuberías y equipos del cliente, pueden surgir diversos problemas de distinta gravedad como:

Que el alojamiento en el puerto de la válvula de un regulador impida su cierre, causando una sobre presión.

Obstruir un conducto impidiendo la transmisión de una señal de presión de gas o dañar otra parte, afectando el funcionamiento de un equipo o la seguridad del sistema.

La disminución en la capacidad de suministro de gas o la imposibilidad de entregarlo debido a obstrucciones en los filtros presentes en las estaciones del usuario o en sus equipos de combustión.

Pueden surgir varios problemas de diferentes grados de gravedad, como, por ejemplo, dañar las paredes de las cámaras de los medidores de lóbulos (rotatorios) al dejar de medir una parte del gas al pasar por alto esta acción.

Al igual que algunas sustancias perjudiciales para el ducto pueden causar problemas y daños a los equipos de los clientes, otras sustancias también pueden tener el mismo efecto negativo. Un ejemplo simple podría ser encontrar agua en el conducto. Además de los problemas previamente mencionados relacionados con la combustión, existen otros inconvenientes asociados con los líquidos (Díaz, s.f.).

Un problema que puede surgir es que el agua, hidratos u otro tipo de líquido ingresen a las tuberías de gas en áreas urbanas. Estos líquidos pueden acumularse en las cámaras flexibles de los medidores de diafragma de los consumidores, disminuyendo su capacidad y provocando lecturas incorrectas en la cantidad de gas vendido. Este es solo uno de los problemas potenciales que la presencia de líquidos en la red puede ocasionar (Díaz, s.f.).

Según se explica en términos sencillos, el gas natural seco es una combinación natural de gases hidrocarburos, aunque también puede contener componentes no combustibles como dióxido de carbono, argón, nitrógeno y otros gases inertes. Estos elementos pueden afectar la calidad del gas en términos de su capacidad calorífica, por lo que es recomendable eliminarlos si están presentes en cantidades excesivas. A veces es rentable quitar ciertos gases, como el etano, para utilizarlos en la industria petroquímica o en la fabricación de etileno, lo cual puede resultar beneficioso para el negocio (Díaz, s.f.).

B. El volumen del gas. Un gas completamente limpio, sin impurezas gaseosas, líquidas o sólidas, garantiza que el consumidor reciba únicamente la cantidad de gas que le suministra el transportador y que pague por ella en consecuencia. Por lo tanto, es crucial garantizar la precisión en la medición del gas transportado para ofrecer un servicio de

transporte de calidad. En teoría, esto no debería representar dificultades, ya que simplemente se necesitarían dispositivos de medición de gas para cobrar de forma adecuada por el suministro de este combustible (Díaz, s.f.).

En la realidad, llevar a cabo esta tarea no es tan fácil. Los medidores no son iguales en todos los casos. Dependiendo de las presiones de trabajo y el volumen de flujo a medir, ciertos tipos de equipos son más adecuados que otros para realizar el servicio correctamente. La capacidad de medición en un rango amplio, así como la precisión en la relación entre el caudal máximo y mínimo, puede variar dependiendo del tipo de medidor utilizado y, en algunos casos, de la presión a la que se encuentre el flujo de gas (Díaz, s.f.).

Usualmente los medidores miden la cantidad de líquido que pasa a través de ellos, aunque algunos tipos registran el peso del líquido que pasa. Todas las lecturas deben ajustarse o al menos ser convertidas a valores comprensibles y manejables para poder realizar una facturación precisa. En la actualidad, los computadores de flujo son responsables de realizar esas tareas, sin embargo, su efectividad está condicionada tanto por la programación del software como por la precisión de los equipos de medición de variables y su correcta calibración, algo que también ocurre en el ámbito de los sistemas y la electrónica (Díaz, s.f.).

Un buen medidor para un determinado servicio, junto con un computador de flujo de calidad, puede producir un resultado inexacto si la señal de presión no es la correcta o si hay fluctuaciones en el voltaje. En gases, el volumen se ve influenciado por las leyes generales que relacionan volumen con presión y temperatura. Sin embargo, en el caso de alta presión, especialmente en el transporte de gas, es necesario corregir esta relación debido a que los gases reales no se comportan exactamente como lo indican las leyes ideales de los gases. Esta corrección se logra a través de la súper compresibilidad, la cual varía según la composición del gas y la presión a la que esté sometido (Díaz, s.f.).

Desde que se empezaron a usar los medidores másicos que registran la masa en circulación y/o los volúmenes, parece que el proceso se vuelve más sencillo. A pesar de

esto, la masa a menudo se convierte en volumen para propósitos contractuales o, más específicamente, en energía (Díaz, s.f.).

Calibrar la masa con precisión es fundamental, sin embargo, es igualmente importante contar con datos precisos sobre las propiedades del gas para poder realizar conversiones de masa a volumen o energía de manera correcta. Si se utiliza información incorrecta, sería equivalente a trabajar con un instrumento de medición defectuoso (Díaz, s.f.).

Los problemas no se limitan a calcular volúmenes, al comprar y vender gas nos interesa principalmente la energía que contiene y su capacidad para realizar trabajo, por eso se negocia en unidades de energía como millones de BTU, kilocalorías, entre otras (Díaz, s.f.).

Si disponemos de un volumen preciso y ajustado utilizando instrumentos especializados, y queremos convertir ese volumen o masa en energía, es necesario conocer el valor calórico del gas por unidad de volumen estándar o masa. Es importante contar con equipos capaces de proporcionar información en tiempo real sobre el poder calorífico del gas en las operaciones de transporte de grandes volúmenes, o al menos tener un calorímetro en línea disponible (Díaz, s.f.).

Con esa información se podrá tener una idea precisa de cómo se lleva a cabo la transferencia de energía en las transacciones de gas entre el transportador, que provee el gas, y los consumidores finales. Esto será válido siempre y cuando los instrumentos estén calibrados adecuadamente. Al examinar la amplia gama de equipos y componentes electrónicos involucrados en el proceso de medición, así como la participación del factor humano, es evidente que cualquier defecto o fallo puede afectar la precisión requerida por las normas técnicas. "Es importante tener en cuenta que la calidad del servicio incluye la proporción adecuada entre la cantidad de gas recibida y el precio pagado, por lo que la medición juega un papel fundamental en la evaluación de la calidad del transporte de gas (Díaz, s.f.).

2.1.3 Riesgo de las instalaciones de GNS/GLP

A. Teoría de los riesgos. Existen actividades que conforman la gestión de cualquier tipo de riesgos; estas son: planificar, identificar, hacer un análisis cualitativo y cuantitativo, planificar la respuesta, y controlar los riesgos (Luján, 2014).

Evaluar los riesgos implica analizar las probabilidades y el impacto de los riesgos identificados, utilizando tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Se recomienda evaluar la probabilidad y el impacto de los riesgos inherentes y residuales de manera individual, por categoría o en función de un conjunto de riesgos (Luján, 2014).

Por otro lado, dar respuesta a los riesgos implica identificar a quién corresponde gestionar los riesgos y a los responsables de los procesos afectados, así como desarrollar y mantener una respuesta a los riesgos que garantice que los controles y medidas de seguridad sean eficaces en la reducción de la exposición a los riesgos de forma continua. La forma de enfrentar los riesgos debe contemplar diferentes estrategias como evitar, minimizar, compartir o aceptar. Es importante evaluar los costos y beneficios de cada respuesta y seleccionar aquellas que permitan mantener los riesgos dentro de los límites establecidos de tolerancia a los mismos (Luján, 2014).

Supervisar el plan de acción contra los riesgos implica dar prioridad y planificar el control de las actividades en todos los niveles para aplicar las respuestas a los riesgos identificados, incluyendo la evaluación de costos, beneficios y responsabilidades necesarias para llevar a cabo la ejecución. Además, implica obtener la aprobación de las acciones recomendadas, aceptar cualquier riesgo restante y asegurarse de que las acciones asignadas a los responsables de los procesos sean llevadas a cabo. Se debe también llevar a cabo el seguimiento de los planes y reportar cualquier desviación a la Alta Dirección (Luján, 2014).

B. Riesgos asociados a instalaciones en el sector gasista. Son todas las posibilidades existentes de que ocurran eventos trágicos en las instalaciones en las que se almacena gas, y que traigan consecuencias negativas para cualquier persona (INSHT, 2024).

1. Inhalación directa de gas. La inhalación de gases en altas concentraciones en el aire, cuando su cantidad supera el 10%, puede tener efectos narcóticos y asfixiantes debido a la reducción del oxígeno en el aire respirable, lo cual representa un riesgo significativo en espacios con ventilación insuficiente (INSHT, 2024). En esta línea, cabe resaltar que la acción perjudicial de los gases irritantes causa una inflamación en las membranas mucosas con las que entran en contacto. Dependiendo de su capacidad de disolverse en agua, estos gases pueden afectar las vías respiratorias altas o bajas, además de la intensidad y duración de la exposición. Por ejemplo, el amoníaco crea calor e hidróxido amónico al reaccionar con el agua, el cual es responsable de efectos corrosivos. Cuando se combina con hipoclorito, se liberan cloraminas que producen ácido hipocloroso en las mucosas, lo que resulta en lesiones celulares al descomponerse en ácido clorhídrico, liberando oxígeno. La combinación de cloro y agua en los pulmones produce ácido clorhídrico e hipocloroso, que a su vez generan más ácido clorhídrico y oxígeno activo de manera rápida. Esto resulta en un mayor daño pulmonar al comenzar la cascada de radicales libres (Ballesteros, Ramón y Martínez, 2005).

Los gases irritantes pueden causar una serie de problemas de salud, como inflamación de la nariz, los ojos, la garganta y la laringe, acompañados de tos irritativa, dolores de cabeza, vómitos y náuseas; por este motivo es indispensable que los espacios de trabajo cuenten con la ventilación adecuada. En la mayoría de los casos de exposición doméstica al cloro o cloraminas, no es necesario trasladar al paciente a un hospital, ya que los síntomas suelen resolverse en menos de 6 horas con atención primaria. Las manifestaciones más severas incluyen inflamación de la garganta, dificultad respiratoria aguda, acumulación de líquido en los pulmones y neumonitis por sustancias químicas. Se ha observado un desequilibrio ácido-base con exceso de cloro al inhalar gas cloro. Además, el asma inducida por irritantes es una condición comúnmente vista como una reacción de las vías respiratorias ante la exposición a sustancias irritantes (Ballesteros, Ramón y Martínez, 2005).

Los síntomas causados por gases asfixiantes como el butano o propano se presentan de manera rápida; esto – principalmente – por la identificación inmediata olores característicos. Los órganos que requieren mayor cantidad de oxígeno, como el cerebro y el corazón, son los más afectados en poco tiempo. Puede haber hipoxemia y ataques cardíacos, además de daños en los pulmones y la aparición de fallo orgánico múltiple tras la inhalación intensiva (Ballesteros, Ramón y Martínez, 2005).

2. Inhalación de gases procedentes de su mala combustión. La inhalación de monóxido de carbono (CO) ocasionada por una combustión incompleta puede ser altamente peligrosa, ya que incluso a bajas concentraciones puede causar que el sujeto se desmaye o actúe con somnolencia. El peligro aumenta con el tiempo de exposición, el nivel de concentración y los movimientos físicos (INSHT, 2024). En esta línea, Bolaños y Chacón (2017) indican que el CO es un gas invisible, no irritante, sin olor y sin sabor que se forma al quemar hidrocarburos como el carbón y el gas. Aunque todos pueden estar expuestos a niveles bajos de CO, inhalar grandes cantidades puede ser mortal sin que la persona se dé cuenta, por eso se le conoce como un asesino silencioso.

Hay fuentes de dióxido de carbono que provienen tanto de la naturaleza como de la actividad humana; la principal fuente generada por el ser humano es la emisión proveniente de los tubos de escape de los vehículos, así como de aparatos que no funcionan correctamente con gas o madera. Por otro lado, fuentes naturales como los volcanes e incendios forestales también contribuyen a la presencia de CO en la atmósfera. La cantidad de CO presente en el aire es mínima, siendo menor al 0,001%, aunque puede aumentar en zonas urbanas (Bolaños y Chacón, 2017).

La peligrosidad del monóxido de carbono radica principalmente en su fuerte afinidad por los grupos hemo de ciertas proteínas, como la hemoglobina y la mioglobina, así como por los citocromos presentes en las enzimas respiratorias mitocondriales. Esta afinidad provoca una interrupción en el transporte de oxígeno y desencadena una respuesta inflamatoria. Además, el monóxido de carbono puede causar la oxidación de los lípidos cerebrales, lo que resulta en la pérdida de la conciencia. La afectación de la

mioglobina puede provocar trastornos en el metabolismo celular y rhabdomiólisis, así como hipoxia tisular debido a la interrupción en el metabolismo celular (Bolaños y Chacón, 2017).

Los daños al corazón por intoxicación de CO están relacionados con cambios en la cadena de respiración de las mitocondrias y la liberación de radicales libres dentro de las células. La intoxicación aguda ocurre debido a la falta de oxígeno en los tejidos, ya que el CO se une a la hemoglobina y reduce el transporte de oxígeno. Una vez inhalado, el CO pasa al torrente sanguíneo y se une a la hemoglobina, formando carboxihemoglobina de manera reversible y competitiva (Bolaños y Chacón, 2017).

3. Contacto con el gas líquido. Cuando la piel o los ojos entran en contacto con gases líquidos, es posible sufrir quemaduras por congelación debido al contacto directo con el gas licuado o con los dispositivos que lo almacenan. Además, la inhalación de gas a temperaturas muy bajas puede causar daños en los pulmones (INSHT, 2024). En esta línea, Prieto, González y Chaves (2019) indican que, con el fin de garantizar la calidad del gas natural seco, es necesario llevar a cabo un tratamiento previo para eliminar los hidrocarburos de cadena larga y compuestos inorgánicos como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, agua y otras impurezas.

Investigaciones experimentales han confirmado que la efectividad de la separación entre gas y líquido está fuertemente influenciada por la presión a la que opera el separador. A medida que la presión aumenta, la diferencia de densidades entre las fases líquida y gaseosa disminuye, al igual que la tensión superficial, lo que provoca la generación de gotas más pequeñas que son arrastradas por el gas, lo que dificulta e incluso imposibilita la separación. Durante muchas décadas, la simulación numérica se ha empleado para analizar fenómenos en procesos de ingeniería, lo cual ayuda a validar, rechazar o mejorar los diseños tradicionales basados en la experiencia práctica o supuestos sobre especificaciones de equipos o fallos en los procesos (Prieto, González y Chaves, 2019).

4. Incendio y explosión. Son siniestros que pueden surgir como consecuencia de la fuga de gas en niveles superiores a lo permitido en lo que respecta a la explosividad y presencia de fuentes de ignición (INSHT, 2024). Específicamente, el incendio es uno de

los siniestros industriales que tiene un alcance más limitado; a pesar de esto, sus consecuencias pueden ser devastadoras, ya que la radiación térmica resultante puede afectar a otras áreas de la instalación y provocar nuevas emergencias como explosiones y fugas. Además, la presencia de humo puede dificultar considerablemente el trabajo de los equipos de respuesta, exponiéndolos a riesgos adicionales como la reducción de la visibilidad o la intoxicación. Investigaciones de diferentes tipos en el estudio histórico de accidentes han demostrado que, luego de los escapes, los incendios son los que tienen más incidentes registrados, seguidos por las explosiones y la formación de una nube de gas (Dueñas y Orozco, 2019).

Cuando un líquido inflamable escapa, una de las posibles consecuencias son los charcos de fuego al aire libre. Estos se generan cuando se derrama un líquido combustible en el suelo y en el exterior. Si se produce la ignición del líquido derramado, el tipo de incendio que se genere dependerá de si el escape es gradual o repentino. Si la fuga es repentina, el líquido se dispersará hasta encontrar un obstáculo o agotar el combustible en el incendio. En cambio, si la fuga es constante, el charco irá aumentando hasta que la velocidad de combustión sea igual al flujo de vertido. Así, se alcanzará un tamaño constante, que se mantendrá mientras la fuga no se detenga. Además, si el líquido queda atrapado en un recipiente o área protegida, como una cubeta, la propagación del incendio no dependerá tanto de si la fuga es repentina o constante. En situaciones donde no hay barreras de contención, es crucial determinar si la fuga es repentina o constante de antemano. En la mayoría de los casos, es imprescindible conocer el tamaño del incendio en los diversos modelos (Dueñas y Orozco, 2019).

La velocidad máxima de combustión depende de la cantidad de calor liberado por la combustión y del calor necesario para vaporizarla. La radiación tiene un papel fundamental en la combustión cuando el diámetro de la llama es mayor a un metro, ya que la llama se convierte en un cuerpo grueso que emite radiación (Dueñas y Orozco, 2019).

5. Riesgos en la instalación. Son todos los peligros latentes relacionados con las instalaciones que facilitan el traslado del gas, y que pueden ocasionar daños a la salud de

las personas. Estos peligros están presentes en las sustancias que podrían escapar de las instalaciones. Estas condiciones peligrosas pueden llevar a accidentes, problemas de salud e incluso la fatalidad. Entre los riesgos se encuentran diversas variables como la calidad del aire, el ruido, la temperatura, las radiaciones, la iluminación, la carga térmica, entre otros (Ramírez y Huapaya, 2022).

Además de lo mencionado anteriormente, los problemas con las instalaciones también pueden conllevar riesgos químicos, que son todas las formas en las que una exposición a una sustancia química específica en ciertas condiciones puede causar daños. Las sustancias químicas que pueden representar un riesgo para la salud o la seguridad se clasifican como peligrosas. Estas sustancias peligrosas incluyen aquellas que tienen propiedades tóxicas, explosivas, inflamables, autorreactivas, oxidantes o corrosivas. La entrada de estas sustancias al organismo a través de distintas vías como la respiración, la absorción a través de la piel o la ingesta, puede causar consecuencias negativas para la salud, por lo que es importante tener información previa sobre los posibles riesgos que estas sustancias podrían conllevar (Ramírez y Huapaya, 2022).

Sobre la importancia de mitigar estos riesgos, El Organismo supervisor de la Inversión en Energía y Minas (2012). destaca que, sin importar quién lleve a cabo la instalación interna, ya sea la empresa concesionaria o un instalador certificado, es fundamental cumplir con las normas técnicas de calidad y seguridad para poder acceder al servicio. La empresa concesionaria es responsable de verificar que las normas técnicas de calidad y seguridad de las instalaciones internas y externas de la conexión se cumplan.

6. Evaluación de la infraestructura. Existen situaciones que se pueden presentar en una zona geográfica o en las instalaciones de trabajo que, si no son adecuadas, pueden provocar accidentes laborales o pérdidas para la empresa. Estos riesgos están relacionados con elementos como pisos, paredes, techos, puertas, escaleras, ventanas, pasillos y corredores, es decir, todo lo que tiene que ver con la distribución de los espacios de trabajo y sus partes constituyentes (Ramírez y Huapaya, 2022).

Los peligros de la infraestructura incluyen riesgos asociados con la utilización y la exposición a equipos, maquinaria y plantas accionados manualmente. Las lesiones mecánicas suelen ser resultado de los accidentes por contacto con maquinaria, como bordes afilados, superficies calientes, piezas móviles, volantes, poleas, correas, entre otros (Ramírez y Huapaya, 2022).

También los dispositivos eléctricos pueden ser una amenaza importante para los trabajadores si no se manejan adecuadamente o no se les da el mantenimiento adecuado, especialmente cuando tienen altos requerimientos de voltaje o potencia. Esto puede aumentar el riesgo de accidentes aún más. Cuando una persona forma parte del circuito eléctrico al tocar ambos cables de un circuito o un cable energizado y la tierra, o por contacto con un objeto metálico que se electriza al entrar en contacto con un conductor eléctrico, se produce el choque eléctrico. La gravedad de una descarga eléctrica varía dependiendo de varios factores, como la ruta que sigue a través del cuerpo, la intensidad de la corriente, la duración de la exposición y si la piel está mojada o seca. El agua facilita la conducción de la electricidad, lo que hace que la corriente fluya con mayor facilidad en condiciones húmedas y a través de la piel mojada. Los efectos de la descarga pueden ir desde una sensación de hormigueo leve hasta quemaduras graves y paro cardíaco (Ramírez y Huapaya, 2022).

Otro peligro al evaluar la infraestructura son los riesgos ergonómicos en el entorno laboral, los cuales son cualquier condición que pueda provocar daño en el sistema musculoesquelético de un empleado. Estos problemas pueden ser causados por las condiciones físicas del lugar de trabajo o las demandas físicas de un trabajo específico, lo que puede resultar en lesiones o traumatismos, conocidos también como trastornos ergonómicos o musculoesqueléticos (Ramírez y Huapaya, 2022).

2.2 Marco Conceptual

Contacto con el gas líquido. Cuando la piel o los ojos entran en contacto con gases líquidos, es posible sufrir quemaduras por congelación debido al contacto directo con el gas licuado o con los dispositivos que lo almacenan (INSHT, 2015).

Evaluación de la infraestructura. Existen situaciones que se pueden presentar en una zona geográfica o en las instalaciones de trabajo que, si no son adecuadas, pueden provocar accidentes laborales o pérdidas para la empresa (Ramírez y Huapaya, 2022)

Incendio y explosión. Son siniestros que pueden surgir como consecuencia de la fuga de gas en niveles superiores a lo permitido en lo que respecta a la explosividad y presencia de fuentes de ignición (INSHT, 2015).

Inhalación de gases procedentes de su mala combustión. La inhalación de monóxido de carbono (CO) ocasionada por una combustión incompleta puede ser altamente peligrosa, ya que incluso a bajas concentraciones puede causar que el sujeto se desmaye o actúe con somnolencia (INSHT, 2015).

Inhalación directa de gas. La inhalación de gases en altas concentraciones en el aire, cuando su cantidad supera el 10%, puede tener efectos narcóticos y asfixiantes debido a la reducción del oxígeno en el aire respirable (INSHT, 2015).

Riesgos asociados a instalaciones en el sector gasista. Son todas las posibilidades existentes de que ocurran eventos trágicos en las instalaciones en las que se almacena gas, y que traigan consecuencias negativas para cualquier persona (INSHT, 2015).

Riesgos en la instalación. Son todos los peligros latentes relacionados con las instalaciones que facilitan el traslado del gas, y que pueden ocasionar daños a la salud de las personas (Ramírez y Huapaya, 2022).

Riesgos en el mal trasiego del tanque cisterna al tanque estacionario. El trasiego de tanques cisterna a tanques estacionarios, si no se realiza correctamente, conlleva diversos riesgos, principalmente relacionados con la inflamabilidad del GLP. Estos riesgos incluyen explosiones, incendios, fugas y posibles lesiones a personas debido a la exposición al gas y a los efectos de un incendio.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Metodología del Trabajo de Investigación

Para el desarrollo de la investigación, se siguieron una serie de pasos que se describen a continuación:

En primer lugar, se identificó el lugar de estudio, que viene a ser el comedor de la UNI.

En estas instalaciones se identificaron los riesgos.

Se aplicó el instrumento de investigación, con la ficha de observación se evaluaron e identificaron los riesgos y el nivel en que se encuentran.

Luego de ello se procedió a analizar los datos recabados.

Seguidamente, se interpretaron, se evaluaron las hipótesis.⁴

En base a estos resultados, se procedió a elaborar el plan de mitigación de los riesgos.

Se realizó la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.

3.2 Caso de Estudio

El caso de estudio fue las instalaciones de gas GLP que se encuentra en el comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería. El comedor de la UNI es un edificio de dos plantas con un área de construcción de 2.682.83 m², caracterizado como una construcción de gran volumen con compartimentos cortafuego horizontales tipo G. La separación entre la planta baja y el primer piso es suficiente, dado que el edificio cuenta con conexiones verticales. Dentro de sus instalaciones, el comedor está compuesto por diversas áreas funcionales: área de productos químicos, comedor, cocina, patios de tránsito, áreas frías, oficinas administrativas, varios almacenes, cámaras frías para carnes, vestidores y servicios higiénicos para personal y estudiantes, así como áreas de almacenamiento y espera.

Las áreas específicas incluyen: el área de productos químicos para almacenamiento de materiales de aseo y mantenimiento, la cocina para preparación y

lavado de alimentos, múltiples almacenes para diferentes tipos de productos, cámaras frías para carne, y áreas de tránsito y vestidores para el personal. Adicionalmente, hay servicios higiénicos separados por género tanto para el personal como para los estudiantes, un laboratorio de control de calidad de alimentos, y oficinas administrativas. La estructura del edificio está compuesta por ladrillo macizo, ladrillo hueco y drywall. En el área de tanque de gas se encuentran dos tanques de GLP, lo cual es relevante para el análisis de riesgos en estas instalaciones.

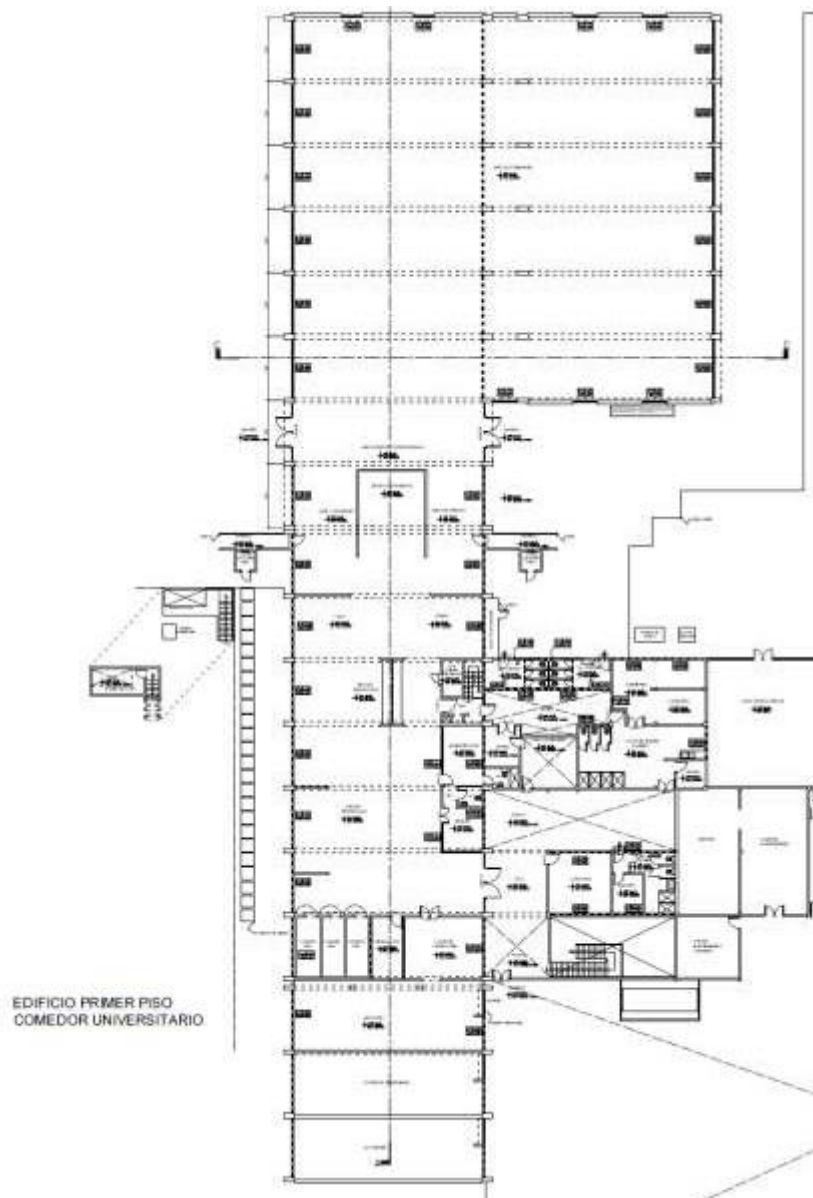
Es un área donde concurren en promedio 3820 alumnos por día (comensales) y esta área es cercana a la biblioteca central de la UNI (86m), estadio de la UNI (52.43m), área de carpintería de la UNI (48m), área de taller de gasfitería y cerrajería (43m), área de trabajos eléctricos de la UNI (46m), al estacionamiento de buses para transporte universitario de la UNI (50m), área de lavandería de la UNI (10m) y el Laboratorio de Informática y Prácticas de la UNI (11m).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Descripción de las instalaciones del comedor (GLP)

Figura 1

Plano del comedor universitario de la UNI



Nota: Imagen del plano del “Comedor Universitario”, cortesía del Jefe del comedor.

El Comedor Universitario de la UNI está diseñado para atender las necesidades alimenticias de estudiantes, profesores y personal administrativo. Su infraestructura está

construida en el primer piso al lado del estadio de la universidad, sobre el comedor se identifica lo siguiente:

a. Ubicación y zonas clave. El comedor universitario se organiza en diversas áreas funcionales. En primer lugar, está la zona de recepción y despacho, situada cerca de la entrada principal. Esta área cuenta con los puntos de servicio al usuario, donde se gestionan las bandejas y se entregan los alimentos. La zona de producción de alimentos es donde se encuentra la cocina industrial, equipada con equipos para la preparación de alimentos. Esta zona está estratégicamente cercana a la zona de servicio para facilitar el proceso de distribución. Por otro lado, el almacén de equipos y suministros se localiza en áreas separadas para mantener organizados los utensilios de cocina y otros elementos esenciales para el funcionamiento del comedor. El área de mantenimiento también forma parte de la infraestructura, aunque se encuentra algo reducida en tamaño.

b. Sistema de almacenamiento de GLP.

Tanques. El sistema de GLP es crucial para la operación del comedor, particularmente en la cocina. Los tanques de GLP están ubicados al aire libre, sobre bases de bloques, lo que les proporciona cierta protección al elevarlos del suelo. Sin embargo, no están cubiertos adecuadamente por techos o estructuras que los protejan de las condiciones climáticas extremas, como el sol y la lluvia. La exposición directa al sol puede generar fluctuaciones térmicas que aumentan la presión interna del gas, lo que representa un riesgo potencial.

Figura 2

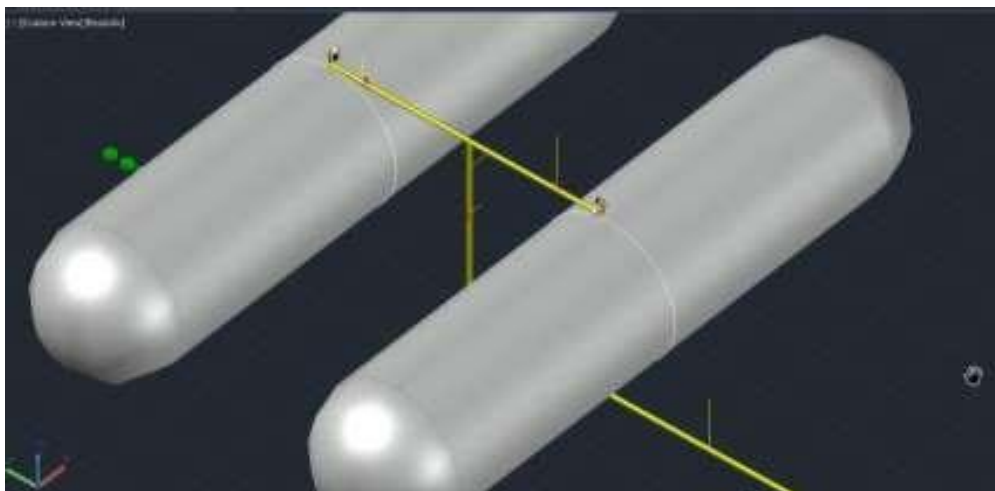
Ubicación al aire libre de los tanques de GLP



Nota: Foto tomada en las instalaciones del “Comedor Universitario” SETIEMBRE-2024.

Figura 3

Vista en 3D de los tanques.

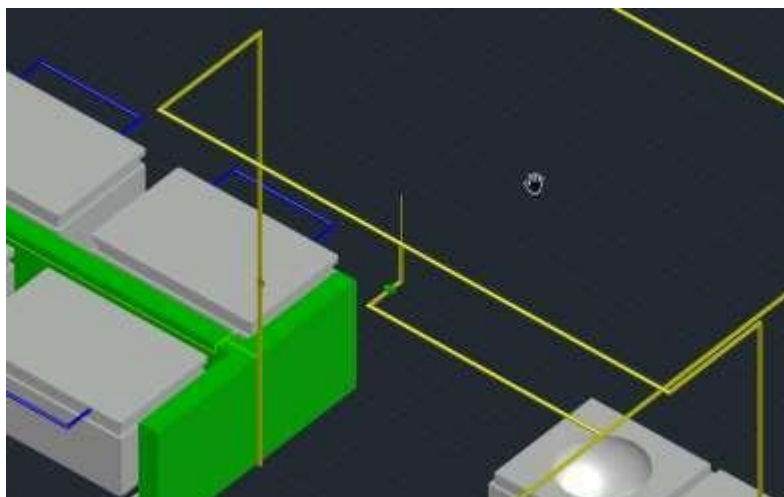


Nota: Imagen del AUTOCAD de autoría propia

Tuberías. Las tuberías que transportan el GLP hacia las cocinas están instaladas de forma aérea, lo que las expone a factores ambientales adversos, como la humedad y la corrosión. Además, algunas de las válvulas de corte y reguladores de presión muestran signos de desgaste y suciedad, lo que podría afectar su funcionamiento y generar posibles fugas de gas. Estas válvulas están ubicadas cerca de las cocinas, lo que permite un fácil acceso para su control, pero también aumenta el riesgo en caso de fallos.

Figura 4

Trazos de las tuberías del comedor.



Nota: Imagen del AUTOCAD de autoría propia.

Válvula de presión de GLP. En el sistema de GLP del comedor, se utiliza una válvula de regulación de gas para controlar el flujo de gas desde los tanques de almacenamiento hacia las cocinas y otros dispositivos. Esta válvula está diseñada para mantener la presión del gas a niveles seguros y constantes, lo cual es crucial para evitar fluctuaciones peligrosas que puedan afectar el rendimiento de los equipos.

Figura 5

Válvula de presión de GLP



Nota: Foto tomada en las instalaciones del “Comedor Universitario” SETIEMBRE-2024.

La válvula de regulación está situada en las líneas de distribución de gas, cerca de la entrada de las cocinas, y permite regular de forma manual el flujo del gas. Se ajusta mediante un tornillo de control, que regula la presión de gas en función de las necesidades del sistema. Esta válvula es esencial para mantener el control en el sistema de gas y evitar sobrepresiones, que podrían resultar en una fuga o incendio.

Válvula de Corte. La válvula de corte es un componente esencial de seguridad, utilizado para interrumpir el flujo de gas en caso de emergencia o durante el mantenimiento

del sistema. Esta válvula se encuentra en las líneas principales de suministro de gas y está diseñada para cerrarse rápidamente y detener el paso de gas cuando sea necesario.

Figura 6

Válvula de corte



Nota: Foto tomada en las instalaciones del “Comedor Universitario” SETIEMBRE-2024.

Instaladas cerca de las cocinas y zonas de almacenamiento de GLP, las válvulas de corte permiten detener el flujo de gas de manera manual, lo que ayuda a prevenir la propagación de una fuga en caso de incidentes. Su color rojo es un indicativo visual que está alineado con su función de seguridad. En caso de fugas o incendios, estas válvulas permiten cerrar rápidamente el paso de gas, evitando que se agraven los problemas de seguridad.

Manómetro y válvula de regulación. Un manómetro junto con una válvula de regulación se encuentra instalado en las salidas de los tanques de GLP, permitiendo monitorear la presión del gas y ajustarla según sea necesario para asegurar que se mantenga dentro de los límites operativos recomendados.

Figura 7

Válvula de regulación



Nota: Foto tomada en los en las instalaciones del “Comedor Universitario” SETIEMBRE-2024.

Los manómetros están instalados directamente en los tanques de gas o en los puntos de conexión, proporcionando lecturas continuas de la presión en el sistema. La válvula de regulación asociada ajusta el flujo de gas según las mediciones obtenidas del manómetro, asegurando un flujo constante y seguro.

Válvula de regulación externa. En algunas secciones del comedor, se observa una válvula de regulación externa instalada para mantener la presión adecuada del gas cuando se distribuye desde los tanques hasta las instalaciones de uso final, como las cocinas y los sistemas de calefacción. Esta válvula se encuentra en la línea de suministro externo que conecta las áreas de almacenamiento con las cocinas. Su función es regular el flujo de gas para que llegue a las cocinas con la presión adecuada. Además de regular el flujo, la válvula está equipada con un sistema de seguridad que detiene el paso de gas en caso de que se detecten niveles de presión anormales, minimizando los riesgos de fuga o explosión.

Figura 8

Válvulas externas de las tuberías



Nota: Foto tomada en las instalaciones del “Comedor Universitario” SETIEMBRE-2024.

c. Seguridad y prevención de incendios. En cuanto a los sistemas de seguridad, el comedor cuenta con extintores de clase A (para incendios comunes), pero no se han instalado extintores específicos para gas inflamable (clase C), lo que aumenta el riesgo en áreas donde el GLP es utilizado. Aunque existen algunos extintores de clase B en las cocinas, estos no están diseñados para atender incendios provocados por el GLP, lo cual representa un peligro importante en caso de emergencia. El sistema de detección de gas también es insuficiente. No se han instalado detectores automáticos de GLP en áreas de alto riesgo, como las cocinas o el área de válvulas. Estos sistemas son esenciales para la detección temprana de fugas y para prevenir situaciones de emergencia.

d. Sistemas de Ventilación. La ventilación en las áreas críticas, especialmente en las cocinas y las zonas de válvulas, es insuficiente. La falta de ventilación adecuada puede causar acumulaciones de gas en el ambiente, lo que representa un alto riesgo de explosiones o intoxicaciones por inhalación. El diseño actual no cumple completamente con las exigencias de la NTP 321.121:2013, que establece que las instalaciones que manejan GLP deben contar con sistemas de ventilación que permitan evacuar adecuadamente los gases acumulados.

4.2 Gas natural seco versus GLP

De acuerdo con el OSINERGMIN (2012), las diferencias entre el GNS y GLP son:

Tabla 3

Comparación entre GNS y GLP

Características	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Composición	Principalmente compuesto por metano (CH_4), con un 90% de metano y un 10% de otros gases (etanol, CO_2 , nitrógeno, entre otros) (Osinermin, 2012).	Compuesto por propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}), con un 60% de propano y un 40% de butano (Osinermin, 2012).
Fórmula Química	CH_4	C_4H_{10} (Butano), C_3H_8 (Propano)
Gravedad específica	0.60 (El gas natural seco es más ligero que el aire; se disipa rápidamente en caso de fuga).	1.56 (El GLP es más pesado que el aire; se acumula en lugares bajos si hay fuga).
Temperatura de Ebullición	Metano: -161.5°C .	Propano: -42°C ; Butano: -0.5°C .
Temperatura de Autoignición	537°C para el metano.	$454\text{-}510^\circ\text{C}$ para el propano y butano.
Rango de inflamabilidad	5% a 15% en aire (volumen).	2% a 10% en aire (volumen).
Poder Calorífico	$10,440\text{ kcal/m}^3$	Propano: $6,595\text{ kcal/litro}$, Butano: $11,739\text{ cal/Kg}$ (poder calorífico por unidad de masa).
Presión de Suministro	23 mbar (muy baja, dado que es suministrado por red de ductos a presión constante).	50 mbar (requiere un mayor control de presión para su almacenamiento y distribución).
Estado Físico	Gaseoso a temperatura y presión normales (sin límite de compresión).	Líquido a -160°C bajo presión atmosférica, pero se puede mantener como líquido a 20°C con una presión manométrica de 2.5 bar.
Color/Olor	Incoloro e inodoro (se le añade un odorante, etil mercaptano, para detección en caso de fuga).	Incoloro e inodoro (se le añade un odorizante a base de mercaptanos para seguridad).
Método de obtención y Suministro	Extraído de yacimientos subterráneos, transportado por ductos, y distribuido en redes físicas.	Obtenido por fraccionamiento del gas natural o refinado a partir del petróleo. Se distribuye en balones (gas envasado) o, en algunos casos, por redes de tuberías.
Método de transporte	Transporte continuo por redes de ductos a baja o alta presión.	Transporte en cisternas o a través de redes de tuberías (generalmente a mayor costo).

Características	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Poder Calorífico por Unidad	El poder calorífico es de 10,440 kcal/m ³ , lo que lo hace adecuado para instalaciones de gran escala.	El poder calorífico varía según el componente: 6,595 kcal/litro para propano, 11,739 kcal/Kg para butano.
Costo de instalación y Distribución	Generalmente menor debido al transporte por ductos de alta presión (especialmente en áreas urbanas).	Alto, debido al costo del transporte en cisternas, envasado, y distribución en balones.
Riesgos Asociados	• Inflamabilidad: Más seguro que el GLP; se dispersa rápidamente en el aire al ser más ligero. • Asfixia: Riesgo en espacios confinados si el gas desplaza oxígeno. • Fugas: Menos perceptible sin odorante agregado (mercaptano). • Explosión: Aunque menos probable que con GLP, existe riesgo en concentraciones específicas en espacios cerrados.	• Inflamabilidad: Altamente inflamable. Al ser más pesado que el aire, puede acumularse en zonas bajas, aumentando el riesgo de explosiones. • Asfixia: Riesgo en espacios confinados debido al desplazamiento de oxígeno. • Congelación: Contacto directo con la piel del gas líquido puede causar quemaduras por frío severo. • Fugas: Difícil de detectar sin aditivos odorantes. • Almacenamiento: Requiere cilindros o tanques presurizados, riesgo en caso de daño o sobrepresión.
Acceso y Disponibilidad	La infraestructura de redes de gas natural seco permite un acceso continuo en zonas urbanas y rurales donde están las redes de ductos.	El acceso depende de la disponibilidad de balones de gas, aunque también existen redes de distribución en áreas urbanas.
Tipo de Combustión	La combustión del GNS produce una llama azulada, bien definida y sin residuos contaminantes cuando está correctamente instalado.	La combustión del GLP también produce una llama azulada, pero una mala combustión puede generar llamas amarillas o anaranjadas, lo que indica residuos contaminantes.
Usos y Aplicaciones Principales	Utilizado en sectores residenciales (cocina, calefacción), comerciales, industriales y en generación eléctrica.	Usado principalmente en sectores residenciales, comerciales e industriales (cocina, calefacción, agroindustria, producción de alimentos, etc.).
Costo y Precios al Consumidor	Suele ser más económico que el GLP, debido a que el transporte por ductos es más barato.	Más caro en términos de costos unitarios, debido a su envasado y transporte. El precio está sujeto a fluctuaciones del mercado.
Seguridad y Manejo	Más seguro, ya que el gas es más ligero que el aire y se disipa rápidamente en caso de fuga.	Relativamente más peligroso debido a que el GLP es más pesado que el aire y tiende a acumularse en las partes bajas,

Características	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
		aumentando el riesgo de explosiones en espacios cerrados.
Impacto Ambiental	Menor impacto ambiental comparado con otros combustibles fósiles como el carbón o el petróleo.	Similar al gas natural, aunque depende de la fuente de extracción y el proceso de refinado.
Suministro Continuo vs Interrumpido	El suministro es continuo y estable, lo que favorece su uso a largo plazo sin necesidad de recargas.	El suministro es interrumpido y depende de las recargas de los balones, lo que puede generar inconvenientes en el abastecimiento.
Compatibilidad con Artefactos	Requiere artefactos específicamente diseñados para gas natural seco, no es intercambiable con GLP sin modificación.	Puede ser usado en la mayoría de artefactos diseñados para gas natural, pero requiere adaptación en los quemadores.

Nota: Adaptado de “El gas natural y sus diferencias con el GLP”; OSINERGMIN, 2012.

4.3 Riesgos entre GNS y GLP

De acuerdo con la norma ANSI Z223.1 (NFPA 54, 2024) y la norma NFP.58 (2024), los posibles riesgos del GNS y GLP son:

Tabla 4

Comparación de riesgos entre GNS y GLP

Aspecto	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Riesgos de Fuga	Se dispersa rápidamente hacia arriba al ser más ligero que el aire (densidad relativa ~0.6).	Al ser más pesado que el aire (densidad relativa ~1.5), se acumula en áreas bajas o cerradas aumentando el riesgo de explosión en caso de fuga.
	Menor probabilidad de acumulación explosiva en espacios confinados.	
Riesgos de Explosión	Alta inflamabilidad en caso de mezclas con aire en proporciones de 5%-15% (límite inferior y superior de explosividad).	Mayor riesgo de explosión debido a su capacidad de formar mezclas inflamables en proporciones de 2%-10% en el aire
Impacto en la Salud	Inhalación en altas concentraciones puede causar asfixia debido al desplazamiento de oxígeno.	Inhalación en áreas cerradas puede causar efectos tóxicos menores debido a la composición (butano y propano), además del riesgo de asfixia.
Riesgos por Almacenamiento	Almacenamiento como gas comprimido o licuado requiere sistemas presurizados con alta resistencia mecánica.	Se almacena en cilindros o tanques presurizados; riesgo de fugas por daño físico en los recipientes o válvulas.
	Requiere estaciones seguras y ventiladas.	Propenso a derrames líquidos inflamables en caso de roturas.

Aspecto	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Riesgos en el Transporte	Transporte como gas comprimido en tuberías requiere sistemas de detección de fugas y monitoreo constante.	Transporte en cilindros o camiones puede generar riesgos de incendio en caso de accidentes o mal manejo.
Riesgos por Combustión Incompleta	Puede producir monóxido de carbono (CO) si la combustión es incompleta, especialmente en equipos mal mantenidos.	También puede producir CO en caso de combustión incompleta; mayor probabilidad si los equipos de cocina no están calibrados correctamente
Riesgos de Manejo	Requiere personal capacitado para operar sistemas de gas natural seco y detectar fugas mediante odorantes añadidos (mercaptanos).	Mayor riesgo para personal no capacitado debido a su tendencia a acumularse en espacios cerrados y su inflamabilidad incluso a bajas concentraciones.
Riesgos en Condiciones de Emergencia	En caso de incendio, el suministro debe cerrarse rápidamente para evitar la propagación del gas en llamas.	Tanques o cilindros pueden convertirse en proyectiles peligrosos si se ven expuestos al calor extremo o fuego directo (riesgo de explosión BLEVE).
Riesgos Ambientales	Menor impacto ambiental si ocurre una fuga, ya que se dispersa rápidamente en la atmósfera, aunque el metano es un gas de efecto invernadero potente.	Mayor riesgo ambiental en caso de fugas líquidas, ya que puede contaminar suelos o aguas subterráneas; sin embargo, es menos nocivo que combustibles líquidos como gasolina o diésel.

Nota: Adaptado de “National fuel gas code” y “Liquefied petroleum gas code”; NFPA, 2021 – 2024.

Riesgos asociados GLP:

Acumulación en áreas bajas: Al ser más pesado que el aire, cualquier fuga tiende a acumularse en sótanos o zanjas, creando un riesgo significativo de explosión.

Fugas indetectables: Aunque se le agrega mercaptano como odorante, en concentraciones bajas puede no ser percibido hasta que alcanza niveles peligrosos.

Explosiones por presión: En caso de incendio, los tanques de GLP pueden explotar debido a la acumulación de presión interna (BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

Efectos en la salud: Contacto con la piel en estado líquido puede causar quemaduras por congelación severa. La inhalación prolongada puede causar mareos, náuseas o pérdida de la consciencia.

Gas natural seco:

Menor densidad de riesgos: Su naturaleza más ligera reduce el riesgo de acumulación en áreas cerradas, pero puede ser peligroso si se concentra en ambientes confinados.

Toxicidad baja: Aunque no es tóxico, la asfixia puede ocurrir en ambientes donde desplaza el oxígeno.

Combustión incompleta: Puede liberar monóxido de carbono, que es altamente tóxico en concentraciones elevadas.

4.4 Normativa de instalaciones para GNS y GLP

Dentro de la normativa peruana existen normas técnicas para evaluar las instalaciones de Gas Natural Seco y de GLP, estas son la NTP 111.011-2014: “Sistema de tuberías para instalaciones internas de gas natural seco”, la NTP 321.121-2013: “Instalaciones internas de GLP para consumidores directos y redes de distribución”, la NTP 111.207-2007: “Artefactos a gas de uso residencial para la coacción de alimentos. Requisitos de seguridad”, NTP 111.022-2008: “Requisito y métodos para ventilación de recintos interiores donde se instalan artefactos a gas para uso residencial y comercial”, NTP 111.023-2008: “Evacuación de los productos de la combustión generados por los artefactos a gas natural”, las cuales a su vez hacen referencias a otras normas, como la NTP 342.052:2000 “Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre sin costura, para agua y gas”; NTP ISO 17484-1 2007 “Sistemas de tuberías multicapas (PE, PE-X, PE-RT, con o sin alma metálica) para instalaciones de gas”; ASTM B 88:1999 “Standard Specification for Seamless Copper Tube for Water, Gas and Sanitation”, y la “Norma Técnica de Edificación EM0.40 Instalaciones de Gas”, etc. Un resumen de las dos normas principales se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5

Aspecto normativas en las instalaciones de GNS y GLP

Aspecto	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Campo de aplicación	Residencial y comercial, con presión máxima de operación hasta 340 mbar.	Consumidores directos y redes de distribución, presión definida por reguladores de etapas.

Aspecto	Gas natural seco (GNS)	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Materiales de tubería	Cobre (ASTM B837), acero al carbono (ISO 65), polietileno (ISO 17484).	Cobre (NTP 342.052), acero negro o galvanizado (NTP 341.065).
Métodos de unión	Soldadura por capilaridad, conexiones roscadas y por compresión.	Soldadura fuerte, uniones abocinadas, roscadas y soldaduras.
Diseño del sistema	Presión máxima admisible calculada considerando el tipo de tuberías, longitud y cantidad de accesorios.	Caída de presión máxima permitida del 5% entre el regulador y el artefacto más lejano.
Pruebas de hermeticidad	Presión de prueba superior al 150% de la presión de operación.	Pruebas hidrostáticas o neumáticas; incluye prueba de presión para detectar fugas.
Ventilación	Obligatoria para equipos de consumo interno; incluye requisitos mínimos de tamaño y ubicación.	Espacios no confinados deben tener ventilación adecuada, siguiendo la NTP 321.127.
Reguladores de presión	Sistemas de regulación de una o más etapas, con control específico para evitar sobrepresión.	Reguladores de alta y baja presión, pérdida máxima del 50% entre etapas.
Válvulas de corte	Válvulas accesibles en puntos de conexión y antes de los artefactos.	Válvulas de corte localizadas antes del artefacto y válvulas generales para cada medidor.
Protección de tuberías	Tuberías empotradas o por conducto deben contar con protección contra corrosión y daños.	Las tuberías enterradas u ocultas deben ser accesibles para inspección, con camisas protectoras.
Artefactos compatibles	Aparatos con presiones de uso entre 18 mbar y 23 mbar.	Equipos ajustados al poder calorífico superior del GLP, con regulaciones específicas para ventilación.
Capacitación	Instaladores registrados y certificados.	Técnicos certificados según requisitos de la NTP.
Inspección y mantenimiento	Inspección anual recomendada; incluye pruebas de fugas y ajuste de presiones.	Inspección periódica de sistemas y válvulas; mantenimiento regular de reguladores.

Nota: Adaptado de “NTP 111.011-2014” y “NTP 321.121-2013”, 2019; INCAL.

4.5 Análisis de riesgo para GLP

4.5.1 Introducción

El análisis de riesgos es un proceso fundamental para identificar, evaluar y minimizar los peligros que podrían materializarse en las instalaciones del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se utilizan instalaciones internas de GLP. Este análisis debe realizarse en base a la Norma Técnica Peruana (NTP) 321.121-2013, que establece los lineamientos para la evaluación de instalaciones internas de GLP para

consumidores directos y redes de distribución. El objetivo es estimar la magnitud de los riesgos y, basándose en ello, tomar decisiones sobre las medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad de las personas y la infraestructura.

Este análisis no solo identifica los riesgos potenciales asociados al uso de GLP, sino que también establece medidas para eliminar o reducir dichos riesgos, o bien para controlar su ocurrencia. La metodología empleada para realizar este análisis se basa en la NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidentes, la cual utiliza una metodología clara y sencilla que facilita la identificación de peligros, su evaluación mediante la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias, así como la determinación del nivel de intervención necesario para mitigar los riesgos.

4.5.2 Alcances

El análisis de riesgos realizado se centra exclusivamente en los riesgos mayores asociados con las instalaciones de GLP en el comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería. Estos riesgos son aquellos que, en caso de materializarse, podrían comprometer la seguridad de los trabajadores, estudiantes y el entorno.

El análisis de riesgos incluirá la evaluación de las infraestructuras de las instalaciones, tales como las redes de distribución internas de GLP, las conexiones, los sistemas de ventilación y las medidas de seguridad instaladas en el área. Asimismo, se considerarán los riesgos asociados con posibles fugas de gas, incendios o explosiones, y la evaluación de la efectividad de los sistemas de seguridad en la prevención de estos accidentes. El alcance del análisis está limitado a la infraestructura de GLP instalada en el comedor, excluyendo otras áreas de la universidad no relacionadas con la distribución o uso de GLP. La metodología adoptada también se ajustará a las normativas de seguridad de la NTP 330, buscando proporcionar un enfoque integral y sistemático para identificar los riesgos de accidentes y establecer las medidas de intervención necesarias para controlarlos eficazmente.

4.5.3 Finalidad

Este análisis tiene como finalidad la prevención de accidentes, la mejora continua de las instalaciones de GLP y la reducción de posibles daños a las personas, bienes y al medio ambiente. La implementación de medidas correctivas o preventivas dependerá de los resultados obtenidos en las etapas siguientes del análisis de riesgos, las cuales serán detalladas en el marco de la metodología utilizada.

4.5.4 Metodología Usada

Para realizar el análisis de riesgos en las instalaciones de GLP del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, se ha empleado la metodología de Análisis Preliminar de Riesgos (APR), según lo establecido en la NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos. Esta metodología permite realizar una evaluación clara y sistemática de los riesgos asociados al uso de GLP, tomando en cuenta tanto la probabilidad de ocurrencia de los accidentes como las posibles consecuencias de los mismos.

El APR es un sistema simplificado que facilita la identificación de los riesgos más relevantes, la metodología también permite determinar el nivel de intervención necesario para mitigar los riesgos identificados, priorizando aquellos que representen una amenaza mayor para la seguridad de los usuarios y el entorno. Dada la naturaleza de las instalaciones del comedor universitario, donde se emplea GLP en las actividades diarias de cocción, el análisis se enfoca principalmente en la identificación de los riesgos más significativos, como las fugas de gas, la acumulación de vapores inflamables, y los posibles incendios o explosiones. La implementación de esta metodología está orientada a mejorar la seguridad y a cumplir con las normativas de la NTP 321.121- 2013, promoviendo el uso seguro del gas licuado de petróleo en instalaciones comerciales y públicas.

A. Base del Método. La base del método de análisis se sustenta en dos factores clave: la probabilidad de que ocurran determinados riesgos y la consecuencia de dichos riesgos. Estos dos parámetros se combinan para obtener el nivel de riesgo, que a su vez define las acciones preventivas o correctivas que deben tomarse.

Probabilidad (P). La probabilidad se refiere a la posibilidad de que un accidente o incidente ocurra en función de las condiciones operacionales de las instalaciones, la frecuencia de uso del GLP y el estado de la infraestructura. En el caso del comedor universitario, se debe evaluar la probabilidad de que ocurran eventos como fugas de gas, fallos en las conexiones o accidentes debido al mal funcionamiento de los equipos de cocina.

Consecuencia (C). La consecuencia se refiere a los posibles daños que se podrían generar si el riesgo se materializa. Esto incluye tanto los daños a las personas (como lesiones o fallecimientos) como los daños a la propiedad (como la destrucción de equipos, instalaciones y daños materiales). En el contexto del comedor, la consecuencia de una fuga de gas o un incendio podría ser grave, afectando tanto la seguridad del personal como la infraestructura.

El riesgo se determina multiplicando la probabilidad (P) por la consecuencia (C), lo que da como resultado una cifra que indica la magnitud del riesgo. Esta cifra, a su vez, sirve para clasificar el riesgo según su gravedad y definir las medidas de intervención necesarias. El cálculo de estos valores ayuda a priorizar los riesgos más significativos y a establecer planes de acción adecuados para su mitigación.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia} \quad (1)$$

El análisis del riesgo en el comedor universitario será detallado mediante el uso de tablas y matrices de evaluación, que permitirán asignar un valor a la probabilidad y la consecuencia de cada riesgo identificado. Esta clasificación ayudará a determinar la gravedad de los riesgos y a diseñar estrategias de intervención y prevención de manera más eficiente y dirigida.

B. Descripción del Método. La metodología aplicada en el análisis de riesgos en las instalaciones de GLP del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería parte de la identificación de las deficiencias existentes en la instalación. Para ello, se realiza una evaluación de los factores de riesgo, tomando en cuenta la magnitud esperada de las consecuencias en caso de que ocurra un accidente. Posteriormente, se estima el nivel de

probabilidad de que los riesgos se materialicen y la magnitud de las consecuencias asociadas. El nivel de riesgo (NR) se calcula multiplicando el nivel de probabilidad (NP) por el nivel de consecuencias (NC), y puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$NR = NP \times NC (2)$$

a. Nivel de deficiencia (ND). El ND se refiere a la magnitud de la relación causal esperada entre los factores de riesgo y el posible accidente. Los valores numéricos utilizados para determinar el nivel de deficiencia están indicados en la Tabla VI, y son fundamentales para entender la relación entre los problemas detectados en las instalaciones de GLP y su riesgo potencial.

Tabla 6

Parámetros del nivel de deficiencia

Nivel de Deficiencia	ND	Significado
Muy Deficiente (MD)	10	Se han identificado importantes factores de riesgo que aumentan la probabilidad de fallos. En cuanto al riesgo, el conjunto actual de acciones preventivas es ineficaz.
Deficiente (D)	6	Se ha identificado un factor de riesgo sustancial que requiere corrección. En general, la eficacia de las intervenciones preventivas actuales disminuye considerablemente.
Mejorable (M)	2	Se han identificado varios factores de riesgo menores. No se aprecia una disminución de la eficacia del conjunto actual de estrategias de prevención de riesgos.
Aceptable (B)	-	No se ha detectado ninguna anomalía destacable. El riesgo está controlado y no merece la pena mencionarlo.

Nota: Elaboración propia

En el análisis realizado para el comedor universitario, se utilizó el método de observación, con la toma de fotografías y la contrastación de la normativa, ello con la finalidad de determinar posibles deficiencias en los sistemas de GLP presentes en las instalaciones. Cada uno de los niveles de deficiencia tiene un valor numérico asignado, el cual se aplica según la evaluación de los riesgos detectados. En este caso, si se detecta una deficiencia significativa en las conexiones de gas o en los sistemas de seguridad, el

nivel de deficiencia será clasificado como “Deficiente (D)” o incluso “Muy Deficiente (MD)”, dependiendo de la gravedad del hallazgo.

En el contexto del comedor universitario, las deficiencias pueden estar relacionadas con la antigüedad de las instalaciones de gas, la falta de mantenimiento adecuado, o la ausencia de medidas de seguridad para la detección de fugas. La evaluación de estos factores es crucial para determinar el nivel de riesgo en las operaciones diarias del comedor, especialmente considerando el uso constante de GLP en la cocina.

b. Nivel de Exposición (NE). El NE mide la frecuencia con la que las personas (trabajadores, universitarios, entre otros) en las instalaciones están expuestos a los riesgos identificados. Este nivel se estima en función de los tiempos de permanencia en áreas de trabajo como las cocinas, donde se manipulan los equipos a gas. Los valores numéricos asociados al nivel de exposición se indican en el Cuadro 4.2, y dependen de factores como el tiempo de permanencia en áreas de riesgo, la frecuencia de contacto con equipos de cocina y las condiciones operacionales de las instalaciones.

Tabla 7

Determinación del Nivel de Exposición

Nivel de Exposición	NE	Significado
Continuo (EC)	4	Exposición continua debido a la operación constante de equipos de cocina y otras instalaciones que requieren el uso continuo de GLP.
Frecuente (EF)	3	Exposición frecuente, pero no continua. Las personas están expuestas al riesgo en intervalos regulares durante el día, como en las horas de comida.
Ocasional (EO)	2	Exposición esporádica, durante operaciones ocasionales con equipos de GLP, como mantenimiento o inspecciones
Escasa (EE)	1	Exposición mínima, solo en situaciones excepcionales o por corto tiempo, como en la inspección del sistema.

Nota: Elaboración propia

En las instalaciones del comedor universitario, el nivel de exposición de los trabajadores y personal se clasifica principalmente en “Continuo (EC)” o “Frecuente (EF)”, dado que el uso de GLP en la cocina es constante durante las horas de operación. Esta clasificación es importante, ya que ayuda a determinar el nivel de intervención necesario

para mitigar los riesgos asociados, especialmente en áreas donde la exposición al gas es mayor.

En función de los valores de deficiencia (ND) y exposición (NE), se determina el nivel de probabilidad (NP) del riesgo, como se detalla en el siguiente paso, que tiene como base la combinación de ambos parámetros.

c. Nivel de Probabilidad (NP). En el análisis de riesgos de las instalaciones de GLP del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, la probabilidad de que un determinado riesgo se materialice se establece mediante la combinación del nivel de deficiencia (ND) y el nivel de exposición (NE). El Nivel de Exposición (NE) indica la frecuencia con la que una persona o grupo está expuesto al riesgo. El Nivel de Deficiencia (ND) se refiere a la gravedad de las deficiencias detectadas en las instalaciones de GLP, las cuales influyen directamente en la probabilidad de que ocurra un accidente. A continuación, se presenta la Tabla 8, que ilustra cómo se determina el nivel de probabilidad en función de estos dos factores:

Tabla 8

Determinación del Nivel de Probabilidad

		Nivel de exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel de Deficiencia (ND)	10	MA-40	MA-30	A-20	A-10
	6	MA-24	A-18	A-12	M-6
	2	M-8	M-6	B-4	B-2

Nota: Elaboración propia

La clasificación del nivel de probabilidad (NP) se realiza en función de la frecuencia de exposición al riesgo y la gravedad de las deficiencias detectadas. Esto ayuda a estimar la probabilidad de que un riesgo se materialice bajo las condiciones actuales de las instalaciones de GLP en el comedor.

Tabla 9

Significado de los Niveles de Probabilidad

Nivel de Probabilidad		NP	Significado
Muy Alta (MA)	Alta	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente, el riesgo se materializa con frecuencia.

Alta (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en el ciclo de vida laboral.
Media (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continua o frecuente. Es posible que suceda y 6 el daño alguna vez.
Baja (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible

Nota: Elaboración propia

El nivel de probabilidad se obtiene tomando en cuenta tanto las deficiencias existentes en la instalación, como la frecuencia con la que se está expuesto a las condiciones de riesgo. Esto es relevante, especialmente en un entorno como el comedor universitario, donde el uso frecuente de GLP en la cocina puede generar riesgos significativos si las medidas de seguridad no son adecuadas o las instalaciones no están correctamente mantenidas. Según este análisis, un nivel de deficiencia muy alto o deficiencias frecuentes en las instalaciones de GLP elevarán el nivel de probabilidad, lo que sugiere que el riesgo es más probable de materializarse.

d. Nivel de Consecuencias (NC). Los riesgos identificados en el análisis no solo se evalúan en términos de su probabilidad de ocurrir, sino también en función de la gravedad de sus consecuencias. La NTP 330 proporciona una clasificación para los niveles de consecuencias (NC), los cuales se distribuyen en cuatro niveles: daño mortal, grave, moderado y leve. Cada uno de estos niveles tiene asignado un valor numérico que refleja la gravedad de las consecuencias para las personas y los bienes materiales.

Los daños personales y materiales se consideran por separado, ya que un mismo accidente puede tener repercusiones diferentes dependiendo de los daños que cause a las personas y a la infraestructura. Este enfoque permite priorizar las medidas correctivas o preventivas, basándose no solo en la probabilidad de que ocurra un accidente, sino también en la magnitud de los daños que podría ocasionar. En el comedor de la universidad, los daños materiales podrían incluir la destrucción de equipos de cocina o de la infraestructura, mientras que los daños personales podrían implicar lesiones graves a los trabajadores debido a una fuga de gas o un incendio.

Tabla 10***Determinación del Nivel de Consecuencias***

Nivel de consecuencias	NC	Daños Personales	Daños Materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 muerto o más	Destrucción total del sistema (difícil renovarlo)
Muy Grave (MG)	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables	Destrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación)
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria	Se requiere para el proceso de reparación
Leve (L)	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización	Reparable sin necesidad de parar el proceso

Nota: Elaboración propia

Los valores asignados a cada nivel de consecuencia ayudan a estimar la gravedad del impacto en función de los posibles daños a las personas y a los bienes materiales. La determinación de las consecuencias de un accidente en las instalaciones de GLP del comedor se realiza considerando los riesgos más significativos, como las fugas de gas o incendios, y cómo estos pueden afectar tanto la seguridad de los trabajadores como la infraestructura del comedor universitario.

e. Niveles de riesgo y nivel de intervención.**Tabla 11*****Determinación del Nivel de Riesgo y de Intervención***

NR = NP x NC				
Nivel de Probabilidad (NP)				
	40-24	20-10	8-6	4-2
100	I 4000-2400	I 2000-1200	I 800-600	II 400-200
60	I 2400-1440	I 1200-600	II 480-360	II-240 III-120
25	I 1000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-50
10	II 400-240	II-200 III-100	III 80-60	III-40 IV-20

Nota: Elaboración propia

Los niveles de riesgo resultantes de la fórmula anterior se clasifican en cinco categorías de intervención (del nivel V al nivel I). Cada nivel de intervención tiene un significado específico que establece qué acciones deben tomarse. El objetivo de esta

clasificación es asegurar que los riesgos sean mitigados de manera eficiente, priorizando aquellos que representan una amenaza significativa para las personas y la infraestructura.

Tabla 12

Significado del Nivel de Riesgo (NR) e Intervención (NI)

NR	Calificación del Riesgo	NI	Significado
<20	Trivial	V	No es necesaria ninguna acción en particular.
20	Tolerable	IV	No es necesario mejorar la actividad preventiva. Sin embargo, deben tenerse en cuenta correcciones o mejoras más económicas que no supongan una gran carga financiera para el sistema. Para garantizar que se mantiene la eficacia de los mecanismos de control, es necesario realizar inspecciones periódicas.
120 a 140	Moderado	III	Hay que esforzarse por reducir el riesgo determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben aplicarse a lo largo de un periodo determinado. Cuando un riesgo moderado se asocie a consecuencias extremadamente nocivas, se prescribirán nuevas medidas para establecer, con mayor precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejorar las medidas de control.
150 a 500	Importante	II	Antes de iniciar cualquier trabajo, hay que minimizar el riesgo. Para controlar el peligro, puede ser necesario realizar gastos importantes. La cuestión debe resolverse más rápidamente en el caso de los riesgos de obras en curso que en el de los riesgos moderados.
> 600	Intolerable	I	No se debe iniciar ni continuar ningún trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. El trabajo debe prohibirse si no puede reducirse el peligro, incluso con recursos mínimos.

Nota: Elaboración propia. NR = nivel de riesgo; NI = nivel de intervención.

En el caso de las instalaciones de GLP del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, la probabilidad de ocurrencia de un accidente (como una fuga de gas o un incendio) depende de las deficiencias detectadas en el sistema de distribución de gas (nivel de deficiencia) y de la frecuencia de exposición de los trabajadores a riesgos relacionados con el gas (nivel de exposición). Las consecuencias de un accidente, como una explosión o un incendio, pueden ser catastróficas, afectando tanto a la seguridad de las personas como a la infraestructura.

4.5.5 Análisis de riesgo en las instalaciones de GLP del comedor de la UNI

A continuación, se presenta un análisis detallado de los riesgos observados en las instalaciones del comedor universitario de la UNI, organizados según las dimensiones e indicadores identificadas en la matriz de operación de variables.

Tabla 13

Resumen de riesgos identificados en el comedor con instalaciones de GLP

Riesgos	Indicadores	Evaluación Actual del Comedor de la UNI
Inhalación Directa	Nivel de ventilación	La ventilación es insuficiente en las áreas de las cocinas y zonas de válvulas, donde no se evidencian sistemas de extracción activa o ventilación cruzada que permitan evacuar gases en caso de fugas. Esto genera acumulación de GLP en áreas bajas.
	Presencia de olores característicos	No se identificaron detectores de gas que puedan alertar sobre la presencia de GLP en caso de fuga. Además, no hay sistemas de monitoreo continuo en las áreas críticas como las conexiones de válvulas y tanques.
Inhalación de gases de mala combustión	Concentración de CO	No se cuenta con sensores para medir monóxido de carbono en la zona de las cocinas, donde las combustiones incompletas podrían generar intoxicación en los operadores.
	Eficiencia de la combustión	Se observó hollín en los quemadores, lo que indica posibles problemas de combustión incompleta debido a falta de mantenimiento o mala calibración de los artefactos para el uso con GLP.
	Presencia de hollín o residuos	Las cocinas presentan acumulación de hollín en los alrededores de los quemadores, reflejando mala combustión y deficiencia en la evacuación de gases
Contacto con el gas líquido	Almacenamiento de gas líquido	Los tanques están expuestos a la intemperie, sin techado o sombra, lo que incrementa riesgos por fluctuaciones térmicas que pueden aumentar la presión interna y debilitar el material.
	Estado de los recipientes	Los tanques muestran signos de exposición prolongada al ambiente, y no se evidencian inspecciones recientes o recubrimientos protectores. Además, las válvulas de los tanques presentan acumulación de suciedad y desgaste, aumentando el riesgo de fugas.
	Protección contra derrames	No se cuenta con bandejas de contención o sistemas secundarios para mitigar los riesgos asociados a derrames de GLP líquido en caso de fallas en los tanques o conexiones.

Riesgos	Indicadores	Evaluación Actual del Comedor de la UNI
Incendio y explosión	Nivel de fuga de gas	No se han implementado detectores de fugas en las áreas críticas como las válvulas, conexiones y cocina, lo que retrasa la detección de escapes de GLP.
	Existencia de sistemas de detección y extinción	No hay evidencia de sistemas de detección temprana de incendios o extinción especializados para fuegos clase C (gas inflamable) en áreas de almacenamiento y uso del GLP.
	Condiciones de las instalaciones eléctricas	Las conexiones eléctricas no tienen la separación mínima exigida respecto a las tuberías de GLP. Esto incrementa el riesgo de ignición en caso de fugas.
	Calidad de las conexiones	Las válvulas de corte y reguladores presentan signos de desgaste, y no se han identificado mantenimientos recientes. Algunas conexiones parecen no contar con sellado adecuado, incrementando el riesgo de fuga.
Riesgos de instalación	Resistencia de las tuberías	Las tuberías aéreas instaladas en el techo carecen de recubrimientos anticorrosivos y muestran señales de oxidación en algunas secciones, lo que las hace susceptibles a fisuras o perforaciones.
	Adecuación del espacio de instalación	Los tanques y tuberías están instalados en zonas expuestas sin barreras de protección o estructuras que minimicen los riesgos de daños mecánicos o impactos accidentales.
Evaluación de la infraestructura	Calidad del sistema de ventilación	En áreas clave como la cocina y las válvulas, no hay ventilación activa o natural que permita evacuar gases de manera eficiente, aumentando la posibilidad de acumulación peligrosa en caso de fuga.
	Protección contra incendios	No se observan extintores adecuados para GLP ni sistemas automáticos de apagado en caso de fuga o incendio. Tampoco hay planes visibles de contingencia para mitigar situaciones de emergencia.

Nota: Elaboración propia

En el análisis realizado sobre los riesgos asociados con las instalaciones de GLP en el comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería, se identificaron varias deficiencias críticas que podrían poner en peligro la seguridad de los trabajadores y la infraestructura. Se observó que las áreas de cocina y las zonas de válvulas no cuentan con sistemas de ventilación adecuados, lo que puede ocasionar la acumulación de GLP en el aire, incrementando el riesgo de intoxicaciones o explosiones. Además, no se dispone de sensores para medir la concentración de monóxido de carbono (CO), lo que aumenta la

posibilidad de intoxicaciones debido a una combustión incompleta de los quemadores. En cuanto a las conexiones de gas, se detectaron signos de desgaste y falta de mantenimiento, lo que podría resultar en fugas peligrosas.

Los tanques de GLP, que están expuestos a las inclemencias del clima sin protección adecuada, también representan un riesgo elevado, ya que el material podría debilitarse con el tiempo, aumentando la probabilidad de fallos. Asimismo, las tuberías de GLP no cumplen con las condiciones de resistencia necesarias, mostrando señales de corrosión, lo que eleva el riesgo de fugas. La falta de medidas para proteger contra posibles derrames de gas en caso de fallas en las conexiones es otra deficiencia importante, lo que podría resultar en una dispersión de gas en áreas de alto riesgo.

En términos de infraestructura, las instalaciones eléctricas y de gas no cumplen con los requisitos de seguridad necesarios, lo que podría causar incendios o accidentes relacionados con fallas eléctricas. Además, el sistema de protección contra incendios es insuficiente, ya que no se detectaron sistemas especializados para incendios originados por GLP, lo que aumenta aún más el peligro de accidentes graves. Estas deficiencias exigen la implementación urgente de medidas preventivas y correctivas, como la mejora de la ventilación, la instalación de sensores de gas, el reemplazo de componentes defectuosos y la instalación de un sistema de detección temprana de incendios, para garantizar la seguridad en el comedor universitario. Asimismo, cada uno de estos riesgos identificados se desarrollan con mayor detalle en las secciones posteriores.

A. Riesgo de inhalación directa para GLP. El riesgo de inhalación directa de GLP es más probable en instalaciones donde las fugas de gas pueden acumularse y no ser evacuadas adecuadamente, exponiendo a los usuarios a efectos adversos. El análisis se centra en los indicadores asociados, y con el cumplimiento o incumplimiento de la normativa NTP 321.121:2013, y su presencia en el comedor universitario de la UNI.

Tabla 14

Identificación y análisis de riesgo de inhalación directa para GLP

Indicadores	Análisis en la instalación del comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Nivel de ventilación	• Área de las cocinas: La ventilación es inadecuada. No se observan extractores mecánicos o sistemas de ventilación cruzada que permitan evacuar gases en caso de fuga. Según la norma, las cocinas deben contar con ventilación natural o mecánica que asegure la evacuación del GLP acumulado. • Área de las válvulas de gas: Las válvulas instaladas dentro del comedor carecen de ventilación activa o rejillas de aireación. Según la normativa, toda zona donde haya válvulas debe tener ventilación adecuada para prevenir la acumulación de gas en caso de fugas. • Zona de almacenamiento de tanques: Al encontrarse al aire libre, no hay un diseño que dirija la ventilación hacia un espacio seguro, como lo exige la norma. En caso de fuga, el gas podría acumularse en áreas bajas como drenajes	Incumple. Las áreas de las cocinas, válvulas y almacenamiento no cumplen con los requisitos de ventilación especificados en los capítulos 7.4 y 7.5 de la NTP 321.121:2013. La norma exige ventilación activa o natural suficiente para evitar acumulación peligrosa.
Presencia de olores característicos	• Cocinas: Aunque el GLP contiene odorantes, la detección depende exclusivamente del personal presente, ya que no hay detectores automáticos. Según la norma, las instalaciones críticas deben contar con sistemas automáticos de detección de gas inflamable. • Válvulas de gas: En estas áreas, la ausencia de sistemas automáticos puede retrasar la identificación de fugas. La normativa exige detectores para monitorear fugas en tiempo real. • Tanques de almacenamiento: No hay señalización ni monitoreo que permita identificar fugas tempranas mediante dispositivos, como lo establece la norma en el capítulo 6.8	Incumple. Según la normativa, las instalaciones deben incorporar sistemas de monitoreo automático para detectar fugas en las áreas críticas, lo cual no se observa en el comedor universitario.

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Cocinas: Riesgo elevado por falta de ventilación activa o natural y la ausencia de detectores automáticos.

Válvulas de gas: Inadecuada supervisión de fugas debido a falta de ventilación y monitoreo.

Tanques de almacenamiento: Exposición a la intemperie, ni sistemas de detección temprana de riesgos.

Deficiencias según la normativa:

Incumplimiento en el diseño de ventilación (capítulos 7.4 y 7.5 de la NTP 321.121:2013).

Ausencia de detectores automáticos de GLP en todas las áreas críticas.

Falta de señalización y estructuras que dirijan la ventilación de los tanques hacia zonas seguras.

B. Riesgo de inhalación de gases de mala combustión para GLP. El riesgo de inhalación de gases de mala combustión, como el monóxido de carbono (CO), es un peligro latente en sistemas de GLP cuando la combustión no es eficiente o los artefactos no están correctamente ajustados.

Tabla 15

Identificación y análisis de riesgo de inhalación de gases de mala combustión

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del	Cumplimiento con la Normativa
	Comedor de la UNI	NTP 321.121:2013
Concentración de monóxido de carbono (CO)	• Zona de las cocinas: No se cuenta con detectores de monóxido de carbono, lo cual dificulta la identificación de acumulaciones peligrosas de este gas tóxico. Según la norma, es obligatorio contar con detectores de CO en áreas donde operen quemadores a GLP, ya que la combustión incompleta genera este gas incoloro e inodoro.	Incumple. La normativa exige la instalación de detectores de CO para prevenir riesgos de intoxicación en áreas de cocción o combustión.
Eficiencia de la combustión	• Cocinas: Se observan quemadores con presencia de hollín, lo cual indica	Incumple parcialmente. Los artefactos no han sido evaluados para garantizar una combustión

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
	problemas en la combustión. Esto puede ser consecuencia de una mala calibración o mantenimiento deficiente de los equipos. Según la normativa, los artefactos deben estar ajustados para operar con GLP y cumplir con niveles adecuados de eficiencia	eficiente conforme a la normativa NTP 321.121:2013, capítulo 7.2.
Presencia de hollín o residuos	• Área de cocción: Se observan residuos de hollín en las cercanías de los quemadores, lo que es un claro indicador de combustión incompleta. Esto no solo afecta la eficiencia del equipo, sino que incrementa la liberación de CO al ambiente.	Incumple parcialmente. La normativa establece que los artefactos deben ser revisados periódicamente para evitar formación de residuos o hollín en sus quemadores.

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Las cocinas son el punto crítico para este riesgo, dado que no cuentan con detectores de CO ni un mantenimiento adecuado de los quemadores.

Los equipos de combustión no han sido evaluados para verificar su calibración específica para GLP, incrementando el riesgo de generación de gases tóxicos.

Deficiencias según la Normativa:

Falta de detectores de monóxido de carbono en las áreas críticas.

Presencia de residuos de hollín y señales de combustión incompleta, lo que incumple los estándares de eficiencia.

Ausencia de documentación que demuestre la calibración de artefactos conforme a los requisitos del GLP.

C. Riesgo de contacto con el gas líquido para GLP. El contacto con GLP es un riesgo significativo cuando los sistemas de almacenamiento y manejo no cumplen con las medidas de seguridad necesarias.

Tabla 16

Identificación y análisis de riesgo de contacto con gas líquido

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Almacenamiento de gas líquido	• Tanques de almacenamiento: Los tanques se encuentran a la intemperie, expuestos directamente al sol y sin estructuras de sombra. Esto no solo genera fluctuaciones térmicas que aumentan la presión interna, sino que también acelera el deterioro del material del tanque. • Distancias de seguridad: No se observó evidencia de que los tanques respeten las distancias mínimas establecidas con respecto a edificaciones, ventanas o fuentes de ignición, lo que incrementa el riesgo de explosión en caso de fuga.	Incumple. La normativa exige que los tanques estén protegidos del sol y las condiciones climáticas extremas (capítulo 6.8) y que respeten distancias mínimas para evitar riesgos.
Estado de los recipientes	• Condición física: Los tanques presentan signos visibles de exposición prolongada a las condiciones ambientales. No se identificaron recubrimientos protectores ni mantenimiento reciente. • Conexiones de válvulas: Las válvulas de los tanques tienen acumulación de suciedad y señales de desgaste, lo que incrementa la probabilidad de fugas. • Pruebas de presión: No se reporta evidencia de pruebas de hermeticidad o presión realizadas recientemente para verificar la seguridad de los tanques	Cumple parcialmente. La normativa requiere que los tanques sean inspeccionados periódicamente y que sus conexiones estén en condiciones óptimas de funcionamiento.
Protección contra derrames	• Bandejas de contención: No se observaron bandejas de contención o sistemas secundarios de seguridad que mitiguen derrames de GLP líquido en caso de fallas en las conexiones o el tanque. • Zona de almacenamiento: No se cuenta con un diseño que limite el alcance de un posible derrame hacia áreas cercanas o drenajes.	Incumple. Según el capítulo 6.8 de la normativa, los sistemas deben contar con dispositivos que eviten la propagación de un derrame y protejan áreas aledañas.

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Zona de tanques: La exposición de los tanques al sol y su ubicación sin protección adecuada representan un incumplimiento crítico.

Conexiones y válvulas: Presentan condiciones de desgaste y acumulación de suciedad que incrementan los riesgos de fuga y fallas mecánicas.

Falta de sistemas de contención: No existen medidas para mitigar los efectos de un derrame, exponiendo al entorno a riesgos adicionales.

Deficiencias según la Normativa:

Falta de techado o estructuras que protejan los tanques de las condiciones climáticas, como lo exige el capítulo 6.8 de la NTP 321.121:2013.

Ausencia de bandejas de contención o dispositivos que limiten el alcance de derrames.

No se respetan las distancias mínimas de seguridad entre los tanques y otros elementos de la instalación.

D. Riesgo de incendio y explosión para GLP. El riesgo de incendio y explosión es uno de los más críticos en instalaciones de GLP debido a la inflamabilidad del gas y su potencial acumulación en espacios confinados o mal diseñados.

Tabla 17

Identificación y análisis de riesgo de incendio y explosión

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Nivel de fuga de gas	• Cocinas y válvulas: No se han instalado detectores de gas en áreas críticas como las cocinas o las válvulas, lo que dificulta la identificación temprana de fugas. Según la normativa, las instalaciones deben contar con detectores automáticos de GLP para prevenir acumulaciones peligrosas. • Tuberías y conexiones: Las tuberías aéreas y las conexiones no muestran evidencia de pruebas recientes de hermeticidad, aumentando el riesgo de escape de gas por desgaste o fallas en los sellos.	Incumple. La falta de detectores de GLP y la ausencia de pruebas de hermeticidad incumplen con los requerimientos del capítulo 6.9 de la normativa.
Existencia de Sistemas de detección y extinción	• Sistema de detección: No se observan alarmas automáticas para detectar fugas de gas o acumulaciones peligrosas en las áreas de almacenamiento, cocinas y válvulas, como lo exige la normativa. • Extintores especializados: En las zonas de riesgo no se han colocado extintores para fuegos clase C (gas inflamable). Este incumplimiento incrementa significativamente el peligro en caso de una ignición.	Incumple. Según el capítulo 7.5, es obligatorio contar con sistemas de detección de fugas y extintores específicos para fuegos de GLP.
Condiciones de las instalaciones eléctricas	• Proximidad a fuentes de ignición: Las instalaciones eléctricas no respetan la distancia mínima exigida respecto a las tuberías y válvulas de GLP. Esto incrementa el riesgo de ignición en caso de fugas, especialmente en las zonas de cocinas y almacenamiento. • Estado de los componentes eléctricos: No se identificaron evidencias de que las conexiones eléctricas sean a prueba de explosión, como exige la normativa en áreas cercanas al gas.	Cumple parcialmente. Las condiciones eléctricas cumplen con las distancias mínimas, pero no con los requerimientos de sistemas a prueba de explosión establecidos en la normativa.
Calidad de las conexiones	• Desgaste en válvulas y tuberías: Se observaron señales de deterioro en algunas conexiones, especialmente en las válvulas de corte y reguladores. La falta de mantenimiento y pruebas de presión aumenta el riesgo de fugas que podrían desencadenar una explosión.	Cumple parcialmente. Las conexiones y válvulas no presentan un estado óptimo de mantenimiento, pero su cuenta con certificaciones que respalden su calidad y seguridad, incumpliendo la normativa en el capítulo 6.7.

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
	• Materiales no homologados: No hay evidencia de que las conexiones cumplan con las normativas de calidad requeridas para sistemas de GLP.	

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Cocinas y áreas de válvulas: La ausencia de detectores de GLP y sistemas de extinción específicos hace que estas áreas sean altamente vulnerables a incendios y explosiones.

Instalaciones eléctricas: La proximidad de componentes eléctricos a las tuberías y válvulas, sin protección a prueba de explosión, representa un riesgo significativo.

Almacenamiento de tanques: Las conexiones deterioradas y la falta de mantenimiento incrementan el peligro de fugas y fallas en situaciones de alta presión

Deficiencias según la Normativa:

No se cumplen los estándares de detección temprana de fugas ni los requerimientos de sistemas de extinción especializados.

Las instalaciones eléctricas no respetan las distancias mínimas de seguridad ni utilizan equipos a prueba de explosión en zonas críticas.

Las conexiones presentan desgaste y falta de inspección periódica, lo que incumple los requerimientos de seguridad.

E. Riesgos en la instalación para GLP. Los riesgos asociados a la instalación de sistemas de GLP en el comedor universitario de la UNI están directamente relacionados con la calidad de los materiales, las técnicas de instalación y el diseño del sistema.

Tabla 18*Identificación y análisis de riesgos en la instalación*

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Resistencia de las tuberías	• Tuberías aéreas: Las tuberías instaladas en el techo muestran señales visibles de corrosión debido a la falta de recubrimientos protectores, como pintura epóxica o cintas de polietileno, necesarios para protegerlas de las condiciones ambientales. Esto las hace vulnerables a fisuras o perforaciones. • Material de las tuberías: No hay evidencia de que las tuberías cumplan con normas internacionales como ASTM B88 (cobre) o ASTM A53 (acero).	Cumple parcialmente. Según el capítulo 6.9 de la normativa, las tuberías deben estar protegidas contra corrosión, pero si cumplen con los estándares de calidad específicos.
Adecuación del espacio de instalación	• Almacenamiento de tanques: Los tanques no están ubicados en un espacio diseñado para minimizar los riesgos. No cuentan con barreras físicas ni estructuras que los protejan de impactos mecánicos. • Tuberías enterradas: No se observan marcadores que indiquen su ubicación, lo que dificulta su inspección y aumenta el riesgo de daños durante obras cercanas.	Incumple. El capítulo 6.10 exige que las instalaciones estén diseñadas para evitar daños mecánicos y garantizar la seguridad del sistema.

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Tuberías aéreas: Su exposición sin protección adecuada las hace susceptibles a corrosión y fallas estructurales.

Zona de tanques: La falta de barreras de protección incrementa el riesgo de daños mecánicos, especialmente en áreas de tránsito.

Tuberías enterradas: La ausencia de señalización aumenta el riesgo de perforaciones accidentales durante actividades cercanas.

Deficiencias según la Normativa:

Las tuberías no presentan recubrimientos anticorrosivos ni cumplen con los estándares de calidad requeridos para sistemas de GLP.

El diseño de las instalaciones no minimiza los riesgos asociados a impactos mecánicos, incumpliendo con las medidas de protección exigidas.

No se respetan los requisitos de señalización y accesibilidad de las tuberías enterradas.

F. Riesgo en la evaluación de la infraestructura para GLP. La infraestructura de las instalaciones de GLP en el comedor universitario de la UNI presenta riesgos relacionados con la calidad y diseño del sistema, especialmente en términos de ventilación, protección contra incendios y adecuación al entorno. Este análisis aborda los indicadores asociados y su cumplimiento con la normativa NTP 321.121:2013.

Tabla 19

Identificación y análisis de riesgo en la evaluación de la infraestructura

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Calidad del sistema de ventilación	- Área de cocinas: No se cuenta con sistemas de ventilación mecánica o natural suficientes para evacuar gases acumulados en caso de fuga o mala combustión. Según la normativa, estas áreas deben tener un sistema que permita renovar el aire constantemente. - Zona de válvulas: La ventilación es prácticamente inexistente, lo que incrementa el riesgo de acumulación peligrosa de GLP en caso de fugas. - Almacenamiento de tanques: Aunque están al aire libre, no se observa un diseño que dirija la ventilación hacia un espacio seguro, como zonas alejadas de personal o edificaciones.	Cumple parcialmente. El capítulo 7.4 de la normativa establece que todas las áreas críticas deben contar con sistemas de ventilación adecuados para prevenir acumulaciones de gas. Pero el hecho de que las tuberías externas estén a la intemperie, ya estaría cumpliendo con ventilación natural.
Protección contra incendios	- Extintores especializados: No hay evidencia de extintores de clase C (diseñados para fuegos de gas inflamable) en las áreas de cocción, válvulas o almacenamiento de tanques. - Sistemas automáticos: No se identificaron sistemas de extinción automática o alarmas de detección temprana en ninguna de las áreas críticas.	Incumple. El capítulo 7.5 de la normativa exige la instalación de extintores especializados y sistemas de detección temprana en todas las áreas de riesgo.

Indicadores	Análisis detallado según la instalación del Comedor de la UNI	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
	Accesibilidad a los equipos de emergencia: No hay señalización visible o clara que indique la ubicación de extintores u otros equipos de emergencia en el comedor.	

Nota: Elaboración propia

Evaluación:

Áreas de mayor riesgo identificadas:

Cocinas y zonas de válvulas: La falta de ventilación adecuada y protección contra incendios en estas áreas aumenta significativamente el riesgo de incidentes.

Zona de tanques: Aunque están al aire libre, no hay medidas que aseguren la dispersión segura del gas en caso de fuga ni sistemas de extinción disponibles.

Deficiencias según la normativa:

Las áreas críticas no cuentan con ventilación suficiente para prevenir acumulaciones de gas, incumpliendo el capítulo 7.4 de la NTP 321.121:2013.

No se dispone de extintores especializados, sistemas automáticos de extinción ni señalización adecuada, lo que viola los requisitos establecidos en el capítulo 7.5.

G. Otros riesgos identificados con base en la normativa para GLP. En la Tabla 20 se detalla la evaluación de los riesgos adicionales asociados al comedor universitario de la UNI

Tabla 20

Identificación y análisis de otros riesgos

Riesgo identificado	Descripción Detallada	Razones Asociadas	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
Riesgo de daños por sismos o vibraciones	Las instalaciones no parecen considerar medidas antisísmicas, como anclajes en tanques y tuberías, lo que las hace vulnerables a fallos estructurales durante movimientos telúricos.	- Falta de anclajes sísmicos en tanques y tuberías. - Ausencia de juntas flexibles para absorber movimientos y reducir tensiones.	Cumple parcialmente. El capítulo 6.10 de la normativa exige el diseño de instalaciones considerando la resistencia a movimientos sísmicos y protecciones adicionales.

Riesgo identificado	Descripción Detallada	Razones Asociadas	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
		Ubicación en una región sísmica	
Riesgo de Impactos Mecánicos	Las tuberías y tanques no cuentan con barreras físicas para prevenir daños por impactos de vehículos, equipos o herramientas en zonas de alto tránsito o áreas de mantenimiento	- Exposición de tuberías y tanques en áreas sin protección. - Diseño de la instalación sin considerar medidas de aislamiento físico. - Cercanía a zonas de tránsito constante	Incumple. El capítulo 6.9 establece la necesidad de proteger mecánicamente las instalaciones críticas para evitar daños por impactos accidentales.
Riesgo de Corrosión Avanzada	La falta de recubrimientos anticorrosivos en tuberías metálicas y la exposición directa de los tanques a la intemperie aumentan el deterioro acelerado de los materiales.	- Tuberías y tanques expuestos sin recubrimientos protectores. - Clima variable y humedad en la zona, que favorecen la corrosión. - Ausencia de pruebas de mantenimiento preventivo.	Incumple. El capítulo 6.8 exige la protección anticorrosiva de todos los componentes metálicos expuestos y su inspección periódica.
Falta de Capacitación del Personal	No se menciona evidencia de programas de capacitación regular para el personal encargado de operar y mantener las instalaciones de GLP. Esto puede derivar en errores operativos críticos.	- Ausencia de manuales de procedimiento. - Personal no capacitado en manejo de emergencias ni en operación segura del sistema. - Riesgo por desconocimiento de protocolos normativos.	Incumple. El capítulo 7.6 requiere que el personal esté capacitado en el manejo seguro de GLP, incluyendo simulacros y actualización constante de conocimientos.
Riesgo de Mal Manejo de Residuos	No se especifica un plan de manejo de residuos de mantenimiento, como sellantes, componentes de válvulas y materiales dañados, que pueden representar riesgos	- Falta de procedimientos para desechar componentes obsoletos. - Posibles contaminantes mal	Incumple. El capítulo 7.7 exige la gestión adecuada de residuos generados en las instalaciones de GLP para evitar contaminación o riesgos adicionales.

Riesgo identificado	Descripción Detallada	Razones Asociadas	Cumplimiento con la Normativa NTP 321.121:2013
	adicionales si no se gestionan adecuadamente	almacenados o en contacto con áreas operativas.	
Riesgo por Inspecciones Irregulares	Las pruebas de presión, hermeticidad y mantenimiento general no parecen realizarse con la frecuencia requerida, lo que aumenta el riesgo de fallos imprevistos en las instalaciones.	- Falta de un cronograma documentado de inspecciones. - Deficiencias en la verificación periódica de conexiones, válvulas y tanques. - Desgaste acumulado no detectado a tiempo.	Incumple. El capítulo 6.9 requiere inspecciones periódicas y documentadas de las instalaciones para garantizar su seguridad operativa.
Riesgo Ambiental por Fugas de GLP	En caso de fuga, el gas podría acumularse en áreas bajas o infiltrarse en drenajes cercanos, incrementando el impacto ambiental y el riesgo para la comunidad circundante.	- Almacenamiento y distribución sin contención adecuada. - Ubicación cercana a áreas de uso público sin medidas de mitigación ambiental. - Falta de planes de emergencia ambiental.	Cumple parcialmente. El capítulo 7.8 establece que las instalaciones deben contar con medidas para minimizar el impacto ambiental en caso de fugas de GLP.

Nota: Elaboración propia

Observaciones Generales

Riesgos adicionales críticos:

Estructurales: La falta de medidas antisísmicas y de protección contra impactos aumenta el riesgo de fallos durante eventos externos.

Operativos: La insuficiente capacitación del personal y la ausencia de un plan de manejo de residuos incrementan los riesgos operativos y ambientales.

Ambientales: La falta de contención en fugas y derrames expone a la comunidad circundante a peligros adicionales.

Cumplimiento Normativo:

La instalación cumple parcialmente múltiples requerimientos de la NTP 321.121:2013, especialmente en las áreas de protección estructural, capacitación y manejo ambiental.

4.6 Análisis de riesgo para Gas natural seco (GNS)

De manera similar al análisis de GLP, se desarrolló el análisis de riesgo para instalaciones con GNS. A continuación, se desarrolla un análisis más detallado para cada indicador de riesgo relacionado con el gas natural, haciendo referencia a las áreas específicas que podrían sufrir los riesgos mencionados.

A. Riesgos por inhalación directa para GNS.

Tabla 21

Riesgos identificados por inhalación directa para GNS

Indicador	Riesgo identificado
Nivel de ventilación	Acumulación de gas natural en áreas cerradas como las cocinas, cuartos de válvulas y almacenes técnicos, debido a la falta de ventilación cruzada o activa
Presencia de olores característicos	Dificultad para detectar fugas en áreas técnicas y puntos de conexión en zonas de bajo tránsito debido a la falta de sistemas de monitoreo automático.

Nota: Elaboración propia

B. Riesgos por inhalación de gases de mala combustión en GNS.

Tabla 22

Riesgos identificados por inhalación de gases de mala combustión para GNS

Indicador	Riesgo identificado
Concentración de CO	Generación de monóxido de carbono en las áreas de cocción debido a la combustión incompleta en quemadores mal calibrados
Eficiencia de la combustión	Pérdida de eficiencia en quemadores no diseñados para gas natural seco en las cocinas, lo que genera residuos y aumenta el riesgo de emisión de gases tóxicos.
Presencia de hollín o residuos	Formación de hollín en quemadores mal calibrados en las cocinas, afectando la calidad del aire y reduciendo la eficiencia de los equipos

Nota: Elaboración propia

C. Riesgos por contacto con el GNS.

Tabla 23

Riesgos identificados por contacto con el GNS

Indicador	Riesgo identificado
Red de tuberías	Fugas en las tuberías ubicadas en el techo y en conexiones del área técnica, debido a materiales inadecuados o conexiones defectuosas.
Protección contra daños externos	Daños a tuberías en el techo y válvulas expuestas en el área de servicio por impactos accidentales o tránsito cercano.

Nota: Elaboración propia

D. Riesgos por incendio y explosión en GNS.

Tabla 24

Riesgos identificados por incendio y explosión para GN

Indicador	Riesgo identificado
Nivel de fuga de gas	Acumulaciones peligrosas en espacios confinados como cuartos técnicos o ductos de ventilación, debido a fugas no detectadas.
Sistemas de detección y extinción	Ausencia de extintores clase C y sistemas de extinción automáticos en las cocinas y almacenes técnicos.
Instalaciones eléctricas	Riesgo de ignición en cuartos técnicos o zonas cercanas a cocinas, donde las conexiones eléctricas están próximas a las tuberías de gas.

Nota: Elaboración propia

E. Riesgos en la instalación por GNS.

Tabla 25

Riesgos identificados en la instalación de GNS

Indicador	Riesgo identificado
Resistencia de las tuberías	Tuberías en el techo que presentan riesgo de desgaste debido a la exposición a condiciones climáticas sin protección adecuada.
Adecuación del espacio de instalación	Ubicación inadecuada de válvulas y tuberías cerca de áreas de tránsito en el área técnica y zonas de paso del comedor, aumentando el riesgo de daños accidentales.

Nota: Elaboración propia

F. Riesgos por evaluación de la infraestructura en GNS.

Tabla 26

Riesgos identificados por evaluación de la infraestructura en GNS

Indicador	Riesgo identificado
Calidad del sistema	Deficiencias en la ventilación cruzada en las cocinas y cuartos de válvulas, aumentando el riesgo de acumulaciones peligrosas de gas.
Protección contra incendios	Falta de extintores especializados y sistemas de detección en las cocinas y almacenes técnicos, aumentando la vulnerabilidad a incendios.

Nota: Elaboración propia

4.7 Resumen de riesgos entre GNS y GLP

Tabla 27

Tabla comparativa de principales riesgos identificados para GLP y GNS

Dimensión	Indicador	Riesgo en GLP	Código GLP	Riesgo en GNS	Código GN
Inhalación Directa	Nivel de ventilación	Acumulación en áreas bajas (cocinas, cuartos de válvulas) por ventilación insuficiente.	GLP-R1	Acumulación en áreas altas (cocinas, cuartos técnicos) por ventilación deficiente.	GN-R1
	Presencia de olores característicos	Detección limitada en áreas críticas por falta de detectores automáticos	GLP-R2	Detección limitada en zonas de tránsito bajo, con menor acumulación en comparación con GLP.	GN-R2
Gases de combustión	Concentración de CO	Formación de CO en cocinas por quemadores mal calibrados, con residuos visibles (hollín).	GLP-R3	Generación de CO en cocinas, pero menor formación de hollín debido a combustión más limpia.	GN-R3
Contacto con el Gas	Almacenamiento y tuberías	Exposición a fugas por deterioro en válvulas o tanques al sol sin sombra.	GLP-R5	Fugas en tuberías o conexiones en tránsito cercano, sin riesgo físico directo como en el GLP líquido.	GN-R4
Incendio y Explosión	Sistemas de detección y extinción	Falta de detectores y extintores en áreas críticas, con mayor potencial explosivo por límites amplios de inflamabilidad.	GLP-R6	Deficiencias en detectores y extintores en áreas críticas, con menor potencial explosivo que el GLP.	GN-R5
Infraestructura	Calidad del sistema de ventilación	Ventilación insuficiente en almacenes técnicos y cocinas.	GLP-R7	Ventilación deficiente en cocinas y cuartos técnicos, pero gas se dispersa más fácilmente.	GN-R6
	Protección contra impactos	Falta de barreras físicas en tuberías y	GLP-R8	Riesgo de daños a tuberías por falta	GN-R7

		tanques, aumentando el riesgo de daños mecánicos		de barreras, aunque GNS es menos corrosivo.	
	Protección contra corrosión	Corrosión en tuberías y tanques por falta de recubrimientos	GLP-R9	Menor corrosión general, pero persiste el riesgo si no se utilizan materiales certificados.	GN-R8
Capacitación	Falta de formación	Ausencia de programas de capacitación y simulacros regulares para manejo seguro de GLP.	GLP-R10	Capacitación insuficiente para detección de fugas y manejo seguro de GNS.	GN-R9
Inspecciones	Frecuencia y calidad	Inspecciones irregulares en tuberías, tanques y válvulas, con pruebas de presión no documentadas.	GLP-R11	Inspecciones irregulares en tuberías y conexiones, aunque con menor desgaste en comparación con GLP.	GN-R10
Riesgo Ambiental	Gestión de residuos y fugas	Falta de bandejas de contención y planes de emergencia ambiental para fugas en áreas cercanas a drenajes.	GLP-R12	Riesgo de impacto ambiental menor, pero falta de contención adecuada en caso de fugas significativas.	GN-R11

Nota: Elaboración propia

Análisis:

Mayor Riesgo en GLP: Los riesgos de acumulación, corrosión y explosión son mayores en GLP debido a su densidad, inflamabilidad y mayor interacción corrosiva con materiales. Asimismo, el GLP requiere sistemas de ventilación más robustos y protección adicional contra el contacto con el líquido.

Riesgos Similares: Ambos combustibles presentan riesgos asociados a la falta de detección de gases y monóxido de carbono, así como a insuficiencias en capacitación y mantenimiento.

Ventajas del GNS: Menor riesgo ambiental y menor necesidad de protección contra corrosión, aunque aún requiere monitoreo constante para evitar fugas y acumulaciones.

4.8 Cálculo de principales riesgos en GLP y GNS

El cálculo de riesgo para GLP y GNS se desarrolló en base a la metodología propuesta previamente, ello se desarrolló según la identificación de los riesgos identificados.

Tabla 28

Tabla comparativa de análisis de riesgos: inhalación directa

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R1	Acumulación de GLP en cocinas y cuartos de válvulas por ventilación insuficiente.	10 (Muy deficiente)	4 (Continuo)	40	5 (Lesión grave o daño severo)	200	Riesgo importante. Acción urgente.
GLP-R2	Detección limitada de fugas en áreas críticas por falta de detectores automáticos.	6 (Deficiente)	3 (Frecuente)	18	4 (Lesión leve a moderada)	72	Riesgo Moderado. Medidas necesarias.
GN-R1	Acumulación de GNS cocinas y cuartos técnicos por ventilación deficiente.	8 (Mejorable)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión leve a moderada)	96	Riesgo Moderado. Requiere mejora.
GN-R2	Detección limitada en zonas de tránsito bajo sin detectores automáticos	4 (Mejorable)	2 (Ocasional)	8	3 (Daño menor)	24	Riesgo Tolerable. Verificación periódica.

Nota: Elaboración propia

Tabla 29*Tabla comparativa de análisis de riesgos: inhalación de gases de mala combustión*

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R3	Generación de CO en cocinas por quemadores mal calibrados.	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión moderada)	96	Riesgo Moderado. Requiere atención.
GLP-R4	Formación de hollín en cocinas, indicando combustión incompleta.	6 (Mejorable)	3 (Frecuente)	18	3 (Daño menor)	54	Riesgo Tolerable. Requiere mejoras.
GN-R3	Emisión de CO en cocinas por combustión incompleta	6 (Mejorable)	3 (Frecuente)	18	3 (Daño menor)	54	Riesgo Tolerable. Requiere mejoras.
GN-R4	Hollín mínimo o inexistente en equipos diseñados para gas natural seco.	4 (Aceptable)	2 (Ocasional)	8	2 (Daño insignificante)	16	Riesgo Trivial. Verificación periódica.

Nota: Elaboración propia

Tabla 30*Tabla comparativa de análisis de riesgos: Contacto con el Gas*

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R5	Fugas en tuberías y conexiones expuestas al sol, con riesgo de quemaduras frías por contacto con GLP líquido.	10 (Muy Deficiente)	3 (Frecuente)	30	5 (Lesión grave)	150	Riesgo importante. Acción urgente.
GN-R5	Fugas en tuberías o conexiones cercanas a áreas de tránsito, con riesgo menor de contacto físico directo.	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión moderada)	96	Riesgo Moderado. Requiere mejora

Nota: Elaboración propia

Tabla 31

Tabla comparativa de análisis de riesgos: Incendio y Explosión

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R6	Acumulaciones de gas en espacios confinados (almacenes técnicos, ductos de ventilación) por ventilación insuficiente.	10 (Muy deficiente)	4 (Continuo)	40	5 (Daño crítico)	200	Riesgo crítico. Acción inmediata.
GLP-R7	Falta de sistemas automáticos de detección y extinción en áreas críticas.	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	5 (Daño crítico)	120	Riesgo importante. Acción urgente.
GN-R6	Acumulaciones de gas en áreas altas por falta de ventilación y detectores en cuartos técnicos y ductos de ventilación	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión moderada)	96	Riesgo moderado. Requiere atención.
GN-R7	Sistemas de extinción y detección inadecuados en almacenes técnicos y cocinas.	6 (Mejorable)	3 (Frecuente)	18	4 (Lesión moderada)	72	Riesgo Moderado. Requiere atención.

Nota: Elaboración propia

Tabla 32

Tabla comparativa de análisis de riesgos: Riesgos en la instalación

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R8	Desgaste y corrosión en tuberías expuestas por falta de recubrimientos protectores.	10 (Muy deficiente)	4 (Continuo)	40	5 (Daño crítico)	200	Riesgo crítico. Acción inmediata.
GLP-R9	Ubicación inadecuada de válvulas y tuberías cercanas a áreas de tránsito, sin barreras.	8 (Deficiente)	4 (Continuo)	32	5 (Daño crítico)	160	Riesgo importante. Acción urgente.
GN-R8	Fallos en tuberías por material inadecuado o expuesto a condiciones extremas.	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión moderada)	96	Riesgo moderado. Requiere atención.
GN-R9	Ubicación inadecuada de válvulas en áreas técnicas con tránsito frecuente.	6 (Mejorable)	3 (Frecuente)	18	4 (Lesión moderada)	72	Riesgo moderado. Requiere atención.

Nota: Elaboración propia

Tabla 33

Tabla comparativa de análisis de riesgos: Evaluación de la infraestructura

Código	Riesgo identificado	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP=ND x NE)	Nivel de consecuencia (NC)	Nivel de Riesgo (NR=NP x NC)	Interpretación
GLP-R10	Ventilación insuficiente en áreas críticas como almacenes técnicos y cocinas.	8 (Deficiente)	4 (Continuo)	32	5 (Daño crítico)	160	Riesgo importante. Acción urgente
GLP-R11	Falta de sistemas de extinción automáticos en cocinas y almacenes técnicos.	10 (Muy deficiente)	4 (Continuo)	40	5 (Daño crítico)	200	Riesgo Crítico. Acción inmediata.
GN-R10	Ventilación deficiente en áreas altas como cuartos técnicos y ductos de ventilación.	6 (Mejorable)	3 (Frecuente)	18	4 (Lesión moderada)	72	Riesgo moderado. Requiere atención.
GN-R11	Sistemas de extinción y detección inadecuados en cocinas y almacenes técnicos	8 (Deficiente)	3 (Frecuente)	24	4 (Lesión moderada)	96	Riesgo moderado. Requiere atención.

Nota: Elaboración propia

4.9 Análisis de riesgos

Tabla 34

Resumen del análisis de riesgos para GLP

Dimensión	Código	Riesgo identificado	Trivial	Tolerable	Moderado	Importante	Crítico	NR
Inhalación Directa	GLP-R1	Acumulación en áreas bajas como cocinas y cuartos de válvulas.	0	0	0	0	1	200
Incendio y Explosión	GLP-R6	Acumulación de gas en espacios confinados como almacenes técnicos.	0	0	0	0	1	200
Riesgos en la instalación	GLP-R8	Corrosión en tuberías y tanques.	0	0	0	0	1	200
Infraestructura	GLP-R11	Falta de sistemas de detección y extinción en áreas críticas.	0	0	0	0	1	200
Riesgos en la instalación	GLP-R9	Tuberías y válvulas sin barreras físicas.	0	0	0	1	0	160
Infraestructura	GLP-R10	Ventilación insuficiente en almacenes técnicos y cocinas.	0	0	0	1	0	160
Contacto con el Gas	GLP-R5	Fugas en tuberías y conexiones con riesgo de quemaduras frías.	0	0	0	1	0	150
Incendio y Explosión	GLP-R7	Falta de sistemas automáticos de detección y extinción en áreas críticas.	0	0	1	0	0	120
Gases de Combustión	GLP-R3	Generación de CO en cocinas por quemadores mal calibrados.	0	0	1	0	0	96
Inhalación Directa	GLP-R2	Detección limitada de fugas por falta de detectores automáticos.	0	0	1	0	0	72
Gases de Combustión	GLP-R4	Formación de hollín por combustión incompleta	0	1	0	0	0	54
Total GLP		11	0	1	3	3	4	
		100.0%	0.0%	9.1%	27.3%	27.3%	36.4%	

Nota: Elaboración propia

Tabla 35

Resumen del análisis de riesgos para GNS

Dimensión	Código	Riesgo identificado	Trivial	Tolerable	Moderado	Importante	Crítico	NR
Inhalación	GN-R1	Acumulación de GNS en cocinas y cuartos técnicos por ventilación deficiente.	0	0	1	0	0	96
Contacto con el Gas	GN-R5	Fugas en tuberías o conexiones cercanas a áreas de tránsito, con riesgo menor de contacto físico directo.	0	0	1	0	0	96
Incendio y Explosión	GN-R6	Acumulaciones de gas en áreas altas por falta de ventilación y detectores en cuartos técnicos y ductos de ventilación.	0	0	1	0	0	96
Riesgos en la Instalación	GN-R8	Fallos en tuberías por material inadecuado o expuesto a condiciones extremas.	0	0	1	0	0	96
Evaluación de la Infraestructura	GN-R11	Sistemas de extinción y detección inadecuados en cocinas y almacenes técnicos.	0	0	1	0	0	96
Incendio y explosión	GN-R7	Sistemas de extinción y detección inadecuados en almacenes técnicos y cocinas.	0	1	0	0	0	72
Riesgos en la instalación	GN-R9	Ubicación inadecuada de válvulas en áreas técnicas con tránsito frecuente.	0	1	0	0	0	72
Evaluación de la infraestructura	GN-R10	Ventilación deficiente en áreas altas como cuartos técnicos y ductos de ventilación	0	1	0	0	0	72
Gases de Mala combustión	GN-R3	Emisión de CO en cocinas por combustión incompleta.	0	1	0	0	0	54
Inhalación	GN-R2	Detección limitada en zonas de tránsito bajo sin detectores automáticos.	0	1	0	0	0	24
Gases de Mala Combustión	GN-R4	Hollín mínimo o inexistente en equipos diseñados para gas natural seco.	1	0	0	0	0	16
Total GN		11	1	5	5	0	0	
		100.0%	9.1%	45.5%	45.5%	0.0%	0.0%	

Nota: Elaboración propia

4.10 Situaciones con probabilidad de riesgo

Tabla 36

Probabilidad de riesgo para GLP

Dimensión	Código	Riesgo identificado	Probabilidad de riesgos					NP
			Mínima	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Inhalación	GLP-R1	Acumulación de GLP en cocinas y cuartos de válvulas por ventilación insuficiente.	0	0	0	0	1	40
Incendio y Explosión	GLP-R6	Acumulaciones de gas en espacios confinados (almacenes técnicos, ductos de ventilación) por ventilación insuficiente.	0	0	0	0	1	40
Riesgos en la instalación	GLP-R8	Desgaste y corrosión en tuberías expuestas por falta de recubrimientos protectores.	0	0	0	0	1	40
Evaluación de la Infraestructura	GLP-R11	Falta de sistemas de extinción automáticos en cocinas y almacenes técnicos.	0	0	0	0	1	40
Riesgos en la instalación	GLP-R9	Ubicación inadecuada de válvulas y tuberías cercanas a áreas de tránsito, sin barreras.	0	0	0	0	1	32
Evaluación de la Infraestructura	GLP-R10	Ventilación insuficiente en áreas críticas como almacenes técnicos y cocinas.	0	0	0	0	1	32
Contacto con el Gas	GLP-R5	Fugas en tuberías y conexiones expuestas al sol, con riesgo de quemaduras frías por contacto con GLP líquido.	0	0	0	0	1	30
Incendio y Explosión	GLP-R7	Falta de sistemas automáticos de detección y extinción en áreas críticas.	0	0	0	0	1	24
Gases de Combustión	GLP-R3	Generación de CO en cocinas por quemadores mal calibrados.	0	0	0	0	1	24
Inhalación	GLP-R2	Detección limitada de fugas en áreas críticas por falta de detectores automáticos.	0	0	0	1	0	18
Gases de Combustión	GLP-R4	Formación de hollín en cocinas, indicando combustión incompleta.	0	0	0	1	0	18
Total GLP		11	0	0	0	2	9	
		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	18.2%	81.8%	

Nota: Elaboración propia

Tabla 37

Probabilidad de riesgo para GNS

Dimensión	Código	Riesgo identificado	Probabilidad de riesgos					NP
			Mínima	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Inhalación	GN-R1	Acumulación de GNS en cocinas y cuartos técnicos por ventilación deficiente.	0	0	0	0	1	24
Contacto con el Gas	GN-R5	Fugas en tuberías o conexiones cercanas a áreas de tránsito, con riesgo menor de contacto físico directo.	0	0	0	0	1	24
Incendio y Explosión	GN-R6	Acumulaciones de gas en áreas altas por falta de ventilación y detectores en cuartos técnicos y ductos de ventilación.	0	0	0	0	1	24
Riesgos en la Instalación	GN-R8	Fallos en tuberías por material inadecuado o expuesto a condiciones extremas.	0	0	0	0	1	24
Evaluación de la Infraestructura	GN-R11	Sistemas de extinción y detección inadecuados en cocinas y almacenes técnicos.	0	0	0	0	1	24
Incendio y explosión	GN-R7	Sistemas de extinción y detección inadecuados en almacenes técnicos y cocinas.	0	0	0	1	0	18
Riesgos en la instalación	GN-R9	Ubicación inadecuada de válvulas en áreas técnicas con tránsito frecuente.	0	0	0	1	0	18
Evaluación de la infraestructura	GN-R10	Ventilación deficiente en áreas altas como cuartos técnicos y ductos de ventilación	0	0	0	1	0	18
Gases de Mala combustión	GN-R3	Emisión de CO en cocinas por combustión incompleta.	0	0	0	1	0	18
Inhalación	GN-R2	Detección limitada en zonas de tránsito bajo sin detectores automáticos.	0	0	1	0	0	8
Gases de Mala Combustión	GN-R4	Hollín mínimo o inexistente en equipos diseñados para gas natural seco.	0	0	1	0	0	8
Total GLP		11	0	0	2	4	5	
		100.0%	0.0%	0.0%	18.2%	36.4%	45.5%	

Nota: Elaboración propia

4.11 Medidas de mitigación para GLP

A. Plan de mitigación según los riesgos identificados para GLP. A continuación, se presenta un plan de mitigación enfocado en cada una de las dimensiones e indicadores que afectan la seguridad de las instalaciones de GLP en el comedor universitario de la UNI. Este plan integra medidas correctivas y preventivas para reducir los riesgos identificados.

Tabla 38

Resumen de las medidas de mitigación

Dimensión	Indicador	Medidas de mitigación
Inhalación directa	Nivel de ventilación	• Instalar sistemas de ventilación activa (extractores mecánicos) en cocinas y áreas de válvulas. • Diseñar rejillas o aberturas permanentes para permitir ventilación natural en zonas confinadas. • Realizar inspecciones periódicas de los sistemas de ventilación.
	Presencia de olores característicos	• Instalar detectores automáticos de GLP en áreas críticas como las cocinas, válvulas y tanques. • Capacitar al personal en la identificación de olores característicos del GLP. • Garantizar el mantenimiento regular de los detectores instalados.
Inhalación de Gases de Mala combustión	Concentración de CO	• Incorporar detectores de monóxido de carbono en la zona de cocción. • Calibrar regularmente los artefactos de combustión para garantizar eficiencia y prevenir la generación de gases tóxicos. • Realizar mantenimientos preventivos y correctivos frecuentes de los extractores de ventilación
	Eficiencia de la combustión	• Ajustar los quemadores para asegurar una combustión completa. • Implementar un plan de mantenimiento que incluya la limpieza y verificación de los equipos. • Revisar la compatibilidad de los artefactos con GLP según normativa vigente.
	Presencia de hollín o residuos	• Limpiar periódicamente los quemadores y chimeneas para evitar acumulación de residuos. • Realizar auditorías visuales frecuentes para detectar hollín. • Ajustar los equipos para reducir la formación de residuos producto de una mala combustión.
Contacto con el Gas líquido	Almacenamiento de gas líquido	• Proteger los tanques con estructuras que los resguarden de la intemperie (techos o sombra). • Garantizar que los tanques respeten las distancias de seguridad establecidas.

Dimensión	Indicador	Medidas de mitigación
Incendio y Explosión		• Inspeccionar periódicamente los tanques para identificar daños o fugas.
	Estado de los recipientes	• Realizar pruebas de presión e integridad en los recipientes de almacenamiento cada seis meses. • Aplicar recubrimientos protectores contra la corrosión. • Reemplazar válvulas o conexiones dañadas inmediatamente después de su detección.
	Protección contra derrames	• Implementar bandejas de contención para prevenir la propagación de derrames. • Diseñar áreas de almacenamiento con drenajes controlados y sistemas de emergencia para derrames. • Capacitar al personal sobre la gestión segura de derrames.
	Nivel de fuga de gas	• Incorporar detectores de GLP con alertas sonoras y visuales en todas las áreas críticas. • Realizar pruebas de hermeticidad en válvulas y conexiones cada tres meses. • Inspeccionar y mantener periódicamente las tuberías y reguladores.
	Existencia de sistemas de detección y extinción	• Colocar extintores para fuegos clase C en las zonas de almacenamiento, cocinas y válvulas. • Instalar sistemas de extinción automática en áreas de alto riesgo. • Realizar simulacros de emergencia para evaluar la eficacia de los sistemas instalados.
	Condiciones de las instalaciones eléctricas	• Separar las conexiones eléctricas de las instalaciones de GLP según las distancias de seguridad normativas. • Usar equipos eléctricos a prueba de explosión en áreas cercanas a las válvulas y tanques. • Realizar auditorías periódicas de las instalaciones eléctricas.
	Calidad de las conexiones	• Sustituir las conexiones dañadas o desgastadas por componentes certificados. • Verificar la calidad de los materiales utilizados en tuberías y válvulas según normativas internacionales. • Realizar pruebas regulares de presión y fugas.
Riesgos en la instalación	Resistencia de las tuberías	• Aplicar recubrimientos anticorrosivos en todas las tuberías expuestas. • Reforzar las tuberías aéreas con soportes que absorban vibraciones. • Sustituir tuberías dañadas por materiales certificados que cumplan estándares internacionales.
	Adecuación del espacio de instalación	• Respetar las distancias mínimas de seguridad entre tanques, válvulas y áreas habitadas. • Rediseñar la ubicación de los tanques para minimizar el riesgo de daños mecánicos.

Dimensión	Indicador	Medidas de mitigación
Evaluación de la infraestructura	Calidad del sistema de ventilación	• Incorporar señalización adecuada en todas las áreas de riesgo. • Instalar ventilación cruzada y extractores mecánicos en cocinas y áreas de válvulas. • Garantizar que las rejillas de ventilación estén libres de obstrucciones. • Realizar pruebas periódicas de flujo de aire en las áreas críticas.
	Protección contra incendios	• Diseñar un plan integral de protección contra incendios, incluyendo la instalación de sistemas automáticos de detección y extinción. • Colocar señalización clara y visible en las rutas de evacuación y equipos de emergencia. • Realizar simulacros de evacuación y respuesta a incendios

Nota: Elaboración propia

Recomendaciones adicionales:

Implementación gradual: Priorizar las medidas de mayor riesgo en áreas críticas como cocinas, válvulas y almacenamiento de tanques.

Capacitación continua: Involucrar al personal en la implementación del plan, asegurando que entiendan los protocolos y medidas adoptadas.

Supervisión y control: Designar un equipo responsable del seguimiento y cumplimiento del plan de mitigación para garantizar su eficacia.

B. Plan de mitigación para inhalación directa para GLP

a. Riesgo 1: Ventilación insuficiente

Medida correctiva:

Implementar ventiladores mecánicos de extracción con capacidad suficiente para renovar el aire en las áreas críticas (cocinas y válvulas) al menos 6 veces por hora.

Diseñar y colocar rejillas de ventilación cruzada en puntos estratégicos a nivel bajo (para expulsar GLP acumulado) y a nivel alto (para evitar acumulaciones de calor y otros gases).

Garantizar la instalación de sistemas de ventilación natural asistida, con aberturas permanentes, en todas las áreas de almacenamiento y válvulas.

Medida preventiva:

Realizar una evaluación técnica trimestral del flujo de aire en todas las áreas críticas.

Monitorear continuamente las condiciones de los sistemas de ventilación mediante un plan documentado que incluya inspecciones regulares y mantenimiento preventivo.

b. Riesgo 2: Falta de detección de GLP.

Medida correctiva:

Instalar detectores automáticos de gas en todas las áreas críticas: cocinas, conexiones de válvulas y tanques.

Conectar estos detectores a un sistema de alerta temprana con señales sonoras y visuales para activar protocolos de emergencia.

Medida preventiva:

Establecer un cronograma de calibración semestral de los detectores de gas para garantizar su funcionamiento preciso.

Capacitar al personal sobre la identificación de fugas mediante el olor característico del GLP y el uso correcto de los detectores.

c. Cumplimiento normativo.

Según el capítulo 7.4 de la NTP 321.121:2013, las áreas donde se manipula GLP deben contar con sistemas de ventilación natural o mecánica suficiente para evacuar posibles acumulaciones de gas.

También se exige la implementación de sistemas de detección de gas en zonas críticas, como cocinas y almacenamiento, para prevenir accidentes.

d. Observaciones adicionales.

Áreas prioritarias:

Cocinas: Instalar ventilación cruzada y detectores automáticos.

Válvulas: Diseñar ventilación natural asistida y añadir sistemas de detección.

Almacenamiento de tanques: Incorporar ventilación natural que dirija el gas acumulado hacia áreas seguras.

Responsables:

Equipo técnico designado para la instalación y mantenimiento de los sistemas.

Personal capacitado para el monitoreo de los detectores de gas.

Monitoreo y evaluación:

Realizar auditorías semestrales para verificar el cumplimiento normativo.

Ajustar el diseño de ventilación según las recomendaciones del fabricante de equipos de GLP.

C. Plan de mitigación para inhalación de gases de mala combustión para GLP

a. Riesgo 1: Alta concentración de monóxido de carbono (CO).

Medida correctiva:

Instalar detectores de monóxido de carbono (CO) en áreas de cocción y almacenamiento, conectados a un sistema de alarma que notifique automáticamente en caso de concentraciones superiores a 50 ppm (NTP 111023).

Sustituir equipos de combustión que presenten deterioro o mal funcionamiento, priorizando aquellos que ya muestran señales de combustión incompleta (evidenciadas por acumulación de hollín).

Medida preventiva:

Realizar una calibración trimestral de los artefactos de combustión para garantizar que operen dentro de los rangos óptimos de presión y flujo del GLP.

Implementar un programa de mantenimiento preventivo en los quemadores para evitar obstrucciones y garantizar la mezcla adecuada de aire y gas.

b. Riesgo 2: Baja eficiencia de la combustión.

Medida correctiva:

Ajustar los quemadores de todos los artefactos a los niveles óptimos de presión de trabajo del GLP (1.5 a 3.5 kPa) para garantizar una combustión completa.

Sustituir quemadores que no cumplan con las especificaciones técnicas para el uso de GLP, priorizando equipos certificados bajo normativas internacionales como EN 30-1-

1.

Medida preventiva:

Implementar revisiones bimensuales de los quemadores para verificar la calidad de la combustión y realizar ajustes en caso de anomalías.

Capacitar al personal técnico en la identificación de problemas de combustión (como la formación de hollín o un cambio en el color de la llama).

c. Riesgo 3: Presencia de hollín o residuos.

Medida correctiva:

Limpiar los quemadores y chimeneas de los artefactos cada dos meses para evitar acumulación de hollín, que puede reducir la eficiencia y generar emisiones peligrosas.

Realizar inspecciones visuales semanales en las zonas de cocción para detectar y limpiar residuos acumulados.

Medida preventiva:

Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo detallado que incluya la limpieza interna y externa de los quemadores.

Utilizar únicamente GLP certificado con bajo contenido de impurezas para minimizar la formación de hollín y residuos en los equipos.

d. Cumplimiento normativo.

El capítulo 7.3 de la NTP 321.121:2013 exige que todos los artefactos de combustión sean compatibles con GLP y operen bajo condiciones que garanticen una combustión eficiente y segura.

Además, el diseño y mantenimiento de los equipos deben prevenir la generación de gases tóxicos como el monóxido de carbono, cumpliendo con los niveles máximos permitidos por las normativas internacionales.

e. Observaciones adicionales.

Áreas prioritarias:

Cocinas: Revisar y calibrar los quemadores con mayor frecuencia debido a su uso intensivo.

Sistemas de ventilación: Integrar los detectores de CO con sistemas de ventilación para evacuar gases acumulados de manera eficiente.

Responsables:

El equipo técnico encargado del mantenimiento debe recibir capacitación específica en ajustes de combustión y manejo de detectores de CO.

El personal operativo debe ser instruido en el reconocimiento de señales de combustión ineficiente (llama amarilla o acumulación de hollín).

Monitoreo y evaluación:

Realizar auditorías trimestrales para evaluar el funcionamiento de los artefactos y sistemas de detección.

Documentar los resultados de cada inspección y ajustar las medidas preventivas según sea necesario.

D. Plan de mitigación para contacto con el gas líquido para GLP. El contacto con el gas licuado (GLP) representa riesgos críticos, especialmente en áreas donde el almacenamiento y manejo no cumplen con las medidas de seguridad requeridas. A continuación, se detalla un plan de mitigación para los riesgos relacionados con esta dimensión en el comedor universitario de la UNI.

a. Riesgo 1: Almacenamiento inadecuado del gas líquido.

Medida correctiva:

Construir estructuras de sombra o techos protectores sobre los tanques de almacenamiento para protegerlos de la exposición directa al sol y la lluvia, reduciendo el riesgo de fluctuaciones térmicas y corrosión.

Reubicar los tanques para garantizar que se cumplan las distancias mínimas de seguridad requeridas respecto a edificaciones, fuentes de ignición y áreas de tránsito frecuente, según la normativa.

Medida preventiva:

Realizar inspecciones semestrales de los tanques para identificar daños físicos, corrosión o signos de deterioro en sus conexiones y válvulas.

Incorporar un sistema de monitoreo de presión en los tanques para detectar variaciones inusuales que puedan indicar problemas de seguridad.

b. Riesgo 2: Estado deficiente de los recipientes.

Medida correctiva:

Sustituir tanques con daños estructurales evidentes o válvulas desgastadas por recipientes nuevos que cumplan con las normas internacionales como ISO 4706.

Aplicar recubrimientos protectores anticorrosivos a los tanques para extender su vida útil y garantizar su resistencia a las condiciones climáticas.

Medida preventiva:

Implementar pruebas de presión e integridad en los tanques al menos cada 6 meses, asegurando que cumplen con los estándares de seguridad requeridos.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya la revisión de válvulas, conexiones y recubrimientos.

c. Riesgo 3: Falta de protección contra derrames.

Medida correctiva:

Instalar bandejas de contención bajo los tanques de almacenamiento para recoger cualquier derrame accidental de GLP líquido, evitando su propagación a áreas cercanas o sensibles.

Diseñar áreas de almacenamiento con drenajes controlados que eviten que los derrames lleguen a sistemas de alcantarillado u otras áreas críticas.

Medida preventiva:

Incorporar un sistema de detección de fugas que active alarmas inmediatas en caso de derrames, minimizando el tiempo de exposición y el impacto del incidente.

Capacitar al personal en la gestión segura de derrames, incluyendo el uso de equipos de contención y procedimientos de emergencia.

d. Cumplimiento normativo.

El capítulo 6.8 de la NTP 321.121:2013 exige que los recipientes de almacenamiento estén protegidos contra condiciones climáticas adversas y que se respeten las distancias mínimas de seguridad respecto a otras áreas.

Además, la normativa requiere que las instalaciones cuenten con sistemas que mitiguen el impacto de derrames y que los tanques sean inspeccionados regularmente para garantizar su integridad estructural.

e. Observaciones adicionales:

Áreas prioritarias:

Zona de almacenamiento de tanques: Implementar protecciones físicas y sistemas de monitoreo de presión para minimizar riesgos.

Conexiones y válvulas: Inspeccionar regularmente para garantizar su correcto funcionamiento y prevenir fugas o fallas.

Responsables:

El equipo técnico debe ser responsable de las inspecciones, mantenimiento y reparaciones de los recipientes de almacenamiento.

El personal operativo debe ser capacitado en la respuesta inmediata ante derrames y en el manejo seguro del GLP.

Monitoreo y evaluación:

Establecer auditorías trimestrales para evaluar el cumplimiento de las medidas correctivas y preventivas implementadas.

Documentar los resultados de las inspecciones y crear reportes que sirvan como base para futuras mejoras.

E. Plan de mitigación para incendio y explosión para GLP. El riesgo de incendio y explosión en instalaciones que manejan GLP es uno de los más críticos debido a la inflamabilidad del gas y las posibles acumulaciones en caso de fugas.

a. Riesgo 1: Nivel de fuga de gas.

Medida correctiva:

Instalar detectores de gas GLP en todas las áreas críticas, como las cocinas, almacenamiento de tanques y áreas de válvulas. Estos detectores deben estar conectados a alarmas sonoras y visuales que se activen inmediatamente al detectar concentraciones superiores al 20% del límite inferior de inflamabilidad (LII).

Realizar pruebas de hermeticidad en todas las conexiones, válvulas y tuberías, garantizando que no existan puntos de fuga. Estas pruebas deben realizarse cada tres meses y documentarse.

Medida preventiva:

Reemplazar las válvulas y conexiones que muestren signos de desgaste o daño por componentes certificados y de alta calidad.

Implementar un cronograma de mantenimiento preventivo que contemple inspecciones regulares de tuberías, válvulas y reguladores de presión.

b. Riesgo 2: Existencia de sistemas de detección y extinción.

Medida correctiva:

Instalar extintores portátiles de clase C (gas inflamable) en las áreas de cocción, almacenamiento de tanques y válvulas. Estos extintores deben colocarse en lugares visibles y accesibles.

Incorporar sistemas automáticos de extinción de incendios (como rociadores automáticos) en las áreas de mayor riesgo, especialmente en cocinas y zonas de almacenamiento.

Medida preventiva:

Realizar simulacros de emergencias al menos dos veces al año para evaluar la efectividad de los sistemas de detección y extinción.

Capacitar al personal en el uso de extintores y en los protocolos de respuesta ante fugas e incendios.

c. Riesgo 3: Condiciones de las instalaciones eléctricas.

Medida correctiva:

Reubicar las conexiones eléctricas para que respeten las distancias mínimas de seguridad (al menos 1.5 metros) respecto a las tuberías, válvulas y tanques de GLP, tal como lo exige la normativa.

Sustituir los equipos eléctricos cercanos a las instalaciones de GLP por dispositivos a prueba de explosión, certificados bajo estándares internacionales como IEC 60079.

Medida preventiva:

Realizar auditorías trimestrales para verificar el estado de las instalaciones eléctricas y su conformidad con las normativas aplicables.

Asegurar que las reparaciones y modificaciones eléctricas sean realizadas por personal certificado en instalaciones industriales con GLP.

d. Riesgo 4: Calidad de las conexiones.

Medida correctiva:

Reemplazar las conexiones y válvulas que presenten fugas, desgaste o materiales defectuosos por componentes certificados que cumplan con normativas internacionales como ASTM B837 o equivalentes.

Utilizar materiales anticorrosivos para todas las conexiones expuestas, especialmente en tuberías aéreas y zonas de almacenamiento.

Medida preventiva:

Implementar pruebas de presión periódicas en las conexiones para garantizar su estanqueidad y resistencia.

Capacitar al personal técnico en la instalación adecuada de las conexiones, siguiendo las especificaciones del fabricante.

e. Cumplimiento normativo.

El capítulo 7.5 de la NTP 321.121:2013 establece la necesidad de instalar sistemas de detección y extinción de incendios en todas las áreas críticas, así como de mantener extintores especializados disponibles y operativos.

La normativa también exige que las conexiones eléctricas estén adecuadamente separadas de las instalaciones de GLP y que se utilicen componentes certificados para minimizar riesgos.

f. Observaciones adicionales.

Áreas prioritarias:

Cocinas: Requieren sistemas de extinción automáticos y detectores de gas integrados con alarmas.

Almacenamiento de tanques: Deben protegerse con sistemas de detección de gas y extintores portátiles de clase C.

Zonas de válvulas: Deben incluir sistemas de detección de fugas y mantenimiento regular de sus conexiones.

Responsables:

El equipo técnico debe realizar inspecciones y mantenimientos regulares.

El personal operativo debe ser capacitado en la respuesta inmediata a fugas e incendios.

Monitoreo y evaluación:

Realizar simulacros y auditorías trimestrales para verificar el estado de los sistemas de detección, extinción y conexiones.

Documentar cada inspección y asegurarse de que se implementen las recomendaciones generadas.

F. Plan de mitigación para riesgos en la instalación para GLP. Los riesgos en la instalación de sistemas de GLP están relacionados con la resistencia de los materiales, la adecuación del espacio y la protección contra impactos y corrosión.

a. Riesgo 1: Resistencia de las tuberías.

Medida correctiva:

Sustituir todas las tuberías que presenten señales de corrosión, fisuras o desgaste por materiales certificados como ASTM B88 (cobre) o ASTM A53 (acero), garantizando una resistencia adecuada a las presiones de operación del GLP.

Aplicar recubrimientos anticorrosivos, como pintura epóxica o cintas de polietileno, a todas las tuberías aéreas para protegerlas contra la exposición ambiental.

Medida preventiva:

Realizar inspecciones visuales trimestrales para identificar señales tempranas de corrosión o daños en las tuberías.

Instalar soportes y abrazaderas con protección contra vibraciones para evitar movimientos y tensiones que puedan dañar las tuberías.

b. Riesgo 2: Adecuación del espacio de instalación.

Medida correctiva:

Reubicar los tanques y tuberías en áreas que cumplan con las distancias mínimas de seguridad establecidas (al menos 1.5 metros de fuentes de ignición y áreas habitadas).

Diseñar áreas de almacenamiento con barreras físicas para proteger los tanques de impactos accidentales por vehículos o equipos de mantenimiento.

Medida preventiva:

Instalar señalización visible que delimite las zonas de riesgo y prohíba el acceso no autorizado.

Crear zonas de tránsito exclusivo para personal autorizado y minimizar el paso de vehículos cerca de las instalaciones de GLP.

c. Cumplimiento normativo.

El capítulo 6.9 de la NTP 321.121:2013 exige que las instalaciones de tuberías y tanques estén protegidas contra corrosión, impactos mecánicos y condiciones climáticas adversas.

También se establece la necesidad de respetar las distancias de seguridad entre los sistemas de GLP y otras áreas operativas para minimizar riesgos.

d. Observaciones adicionales.

Áreas prioritarias:

Tuberías aéreas: Reforzar con recubrimientos protectores y soportes adecuados.

Zona de almacenamiento de tanques: Proteger con barreras físicas y señalización clara.

Conexiones críticas: Realizar pruebas de resistencia periódicas para garantizar la seguridad de los materiales.

Responsables:

El equipo técnico debe encargarse del mantenimiento preventivo y correctivo de las tuberías y conexiones.

El personal operativo debe ser capacitado para identificar señales de corrosión o daño en las instalaciones.

Monitoreo y evaluación:

Realizar inspecciones trimestrales para verificar el estado de las tuberías, tanques y conexiones.

Documentar todas las inspecciones y ajustes realizados, asegurando que las medidas de mitigación sean efectivas y estén alineadas con la normativa.

G. Plan de mitigación para evaluación de la infraestructura para GLP. La infraestructura de las instalaciones de GLP debe cumplir con estándares de seguridad que garanticen un diseño adecuado, ventilación eficiente y protección contra incendios.

a. Riesgo 1: Calidad del sistema de ventilación.

Medida correctiva:

Instalar sistemas de ventilación mecánica activa (extractores) en cocinas y áreas de válvulas, con capacidad para renovar completamente el aire al menos 6 veces por hora.

Diseñar y colocar rejillas permanentes de ventilación cruzada en todas las áreas cerradas donde se manipule GLP, ubicadas en niveles bajos (para evacuar GLP) y altos (para liberar calor y otros gases).

Medida preventiva:

Realizar inspecciones trimestrales del flujo de aire en las áreas críticas para garantizar que la ventilación sea suficiente y efectiva.

Capacitar al personal para identificar y solucionar problemas comunes de obstrucción o mal funcionamiento de los sistemas de ventilación.

b. Riesgo 2: Protección contra incendios.

Medida correctiva:

Instalar extintores portátiles de clase C (gas inflamable) en áreas de almacenamiento, válvulas y cocinas, colocados en lugares visibles y accesibles.

Incorporar un sistema de extinción automático en las áreas de mayor riesgo, como las cocinas, utilizando rociadores diseñados para manejar fuegos generados por GLP.

Medida preventiva:

Realizar simulacros semestrales para evaluar la eficacia de los sistemas de extinción y la capacidad de respuesta del personal.

Implementar un programa de mantenimiento para los sistemas de extinción y asegurarse de que estén operativos en todo momento.

c. Cumplimiento normativo.

El capítulo 7.4 de la NTP 321.121:2013 establece que todas las áreas donde se manipule GLP deben contar con un sistema de ventilación eficiente, natural o mecánica.

Según el capítulo 7.5, las instalaciones deben contar con sistemas de extinción especializados para prevenir y manejar incendios relacionados con el uso de GLP.

d. Observaciones adicionales.

Áreas prioritarias:

Cocinas: Garantizar ventilación cruzada y sistemas automáticos de extinción.

Zonas de válvulas: Incorporar ventilación natural asistida y extintores portátiles.

Almacenamiento de tanques: Diseñar ventilación dirigida hacia zonas seguras y alejar el almacenamiento de fuentes de ignición.

Responsables:

El equipo técnico debe supervisar la instalación y el mantenimiento de los sistemas de ventilación y extinción.

El personal operativo debe ser capacitado en el manejo de extintores y en los procedimientos de evacuación en caso de incendios.

Monitoreo y evaluación:

Realizar auditorías semestrales para verificar el estado de los sistemas de ventilación y extinción.

Documentar los resultados de los simulacros y las inspecciones, ajustando las medidas preventivas según sea necesario.

4.12 Medidas de mitigación para GNS

A. Medidas de mitigación para inhalación directa en GNS. El gas natural seco, aunque más ligero que el aire, puede acumularse en áreas cerradas y altas si no se cuenta con un sistema de ventilación adecuado.

Riesgo identificado:

Acumulación en áreas como cocinas, almacenes técnicos y cuartos de válvulas, debido a ventilación insuficiente o mal diseñada.

Medidas correctivas:

Instalación de sistemas de ventilación activa: Incorporar extractores mecánicos en áreas críticas, con capacidad para renovar completamente el aire 6 veces por hora.

Diseño de ventilación cruzada: Colocar rejillas permanentes en niveles bajos (para liberar acumulaciones ligeras) y altos (para disipar el calor). Según la NTP 111.022-2008

AMBIENTE: COCINA- COMEDOR - 1er PISO		
ITEM	Artefactos	Potencia (Kw.)
01	COCINA SEMINDUSTRIAL	100.00
02	SARTEN VOLCABLE 01	31.23
03	SARTEN VOLCABLE 02	31.23
04	SARTEN VOLCABLE 03	31.23
05	SARTEN VOLCABLE 04	31.23
06	SARTEN VOLCABLE 05	31.23
07	SARTEN VOLCABLE 06	31.23
08	MARMITA A GAS 300L 1	70.00
09	MARMITA A GAS 300L 2	70.00
10	MARMITA A GAS 200L 1	60.00
11	MARMITA A GAS VERTICAL 200L	60.00
12	HORNO ROTACIONAL	48.14
13	HORNO NOVA	43.37
	Total	628.90
Área:	15*36= 540 m ²	SEGÚN PLANOS
Altura	3.00 m	
Volumen Físico (m ³)	540*3= 1620 m ³	
Cálculo del espacio Confinado		
Volumen necesario (m ³) V= (4.8 m ³ /kw)x(628.90 kw)	3018.12 m ³	

Monitoreo de flujo de aire: Realizar inspecciones trimestrales para verificar el funcionamiento continuo y efectivo de los sistemas de ventilación.

Medidas preventivas:

Implementar un programa de mantenimiento regular para garantizar que las rejillas y extractores estén libres de obstrucciones.

Capacitar al personal en la detección temprana de fugas y acumulaciones.

B. Medidas de mitigación para inhalación de gases de mala combustión en GNS. La combustión incompleta de gas natural seco puede generar monóxido de carbono (CO), un gas tóxico e incoloro.

Riesgo identificado:

Generación de CO en las cocinas y otros equipos de combustión debido a quemadores mal calibrados.

Medidas correctivas:

Instalación de detectores de monóxido de carbono: Colocar dispositivos automáticos en cocinas, conectados a alarmas visuales y sonoras.

Calibración de equipos: Ajustar los quemadores regularmente para garantizar la mezcla adecuada de aire y gas.

Reemplazo de equipos defectuosos: Sustituir quemadores incompatibles o deteriorados por modelos certificados para gas natural seco.

Medidas preventivas:

Establecer un cronograma de mantenimiento bimensual para la limpieza y calibración de quemadores.

Capacitar al personal técnico en ajustes de combustión para evitar la emisión de CO.

C. Medidas de mitigación para contacto con el GNS. Aunque menos peligroso que el contacto con GLP, el gas natural seco puede provocar intoxicaciones si se inhala en altas concentraciones.

Riesgo identificado:

Fugas en tuberías y conexiones, principalmente en áreas de tránsito y cuartos técnicos.

Medidas correctivas:

Inspeccionar todas las conexiones y tuberías cada tres meses para detectar y corregir fugas.

Sustituir válvulas o conexiones deterioradas por materiales homologados que cumplan con normativas internacionales.

Medidas preventivas:

Implementar un plan de mantenimiento preventivo para verificar regularmente la hermeticidad de las conexiones.

Señalizar las áreas críticas y restringir el acceso no autorizado.

D. Medidas de mitigación para incendio y explosión en GNS. El gas natural seco puede acumularse y formar mezclas inflamables en áreas cerradas si no se detectan fugas a tiempo.

Riesgo identificado:

Acumulación en cuartos técnicos o ductos de ventilación, debido a fugas no detectadas.

Medidas correctivas:

Instalar detectores automáticos de gas en todas las áreas críticas.

Realizar pruebas de hermeticidad en válvulas y conexiones cada tres meses.

Incorporar sistemas de extinción automáticos en cocinas y áreas de almacenamiento.

Medidas preventivas:

Colocar extintores portátiles clase C en todas las áreas críticas.

Realizar simulacros semestrales para evaluar la eficacia de los sistemas de detección y extinción.

E. Medidas de mitigación para riesgos en la instalación en GNS. La resistencia de las tuberías y la adecuación del espacio son cruciales para minimizar riesgos en sistemas de gas natural seco.

Riesgo identificado:

Fallos en tuberías del techo y en conexiones expuestas debido a materiales defectuosos o mala instalación.

Medidas correctivas:

Sustituir tuberías dañadas por materiales certificados con recubrimientos anticorrosivos.

Reubicar tuberías y válvulas para respetar las distancias mínimas de seguridad.

Medidas preventivas:

Realizar inspecciones visuales trimestrales para identificar señales tempranas de desgaste.

Delimitar y señalizar las áreas de tránsito restringido cerca de las instalaciones de gas.

F. Medidas de mitigación para evaluación de la infraestructura en GNS. La calidad de la infraestructura debe garantizar la ventilación eficiente y la protección contra incendios.

Riesgo Identificado:

Falta de ventilación adecuada y sistemas de extinción en las cocinas y almacenes técnicos.

Medidas correctivas:

Diseñar un sistema de ventilación cruzada en todas las áreas cerradas.

Instalar extintores portátiles y sistemas de extinción automáticos en cocinas y almacenes.

Medidas preventivas:

Capacitar al personal en protocolos de respuesta a emergencias por fugas o incendios.

Inspeccionar regularmente los sistemas de ventilación y extinción para garantizar su operatividad.

4.13 Contraste de hipótesis

Para el contraste de las hipótesis se utilizó la información previa del análisis de riesgo, nivel de riesgo y probabilidad para contrastar cada una de las hipótesis.

4.13.1 Contraste de la primera hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación directa, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de ventilación y la presencia de olores característicos.

ii. Contraste y análisis. Del análisis de riesgo realizado, se determinó que la ventilación deficiente es un factor crítico en las instalaciones de GLP y GNS, con implicaciones más graves en el primero. En el GLP, su mayor densidad lo hace más propenso a acumularse en áreas bajas en espacios cerrados, especialmente en condiciones de ventilación insuficiente. Este riesgo fue clasificado con un Nivel de Deficiencia (ND) de 10 (Muy Deficiente), un Nivel de Exposición (NE) de 4 (Continuo), y un Nivel de Probabilidad (NP) de 40. Las consecuencias asociadas se calificaron como Nivel de Consecuencia (NC) de 5 (Lesión grave o daño severo), resultando en un Nivel de Riesgo (NR) de 200 (Importante). En el caso del GNS, si bien también se detectaron problemas de ventilación, su menor densidad favoreció la dispersión hacia zonas altas, lo que redujo su acumulación. Este riesgo obtuvo un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NP = 24, con consecuencias moderadas (NC = 4), resultando en un NR = 96 (Moderado).

Respecto a la detección de fugas mediante olores, se evidenció que en ambas instalaciones este sistema dependía exclusivamente de la percepción humana, dada la ausencia de detectores automáticos. En el GLP, la detección limitada aumentó el riesgo, calificándose con un ND = 6 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión leve), lo que resultó en un NR = 72 (Moderado). En el caso del GNS, el riesgo fue menor, con un

ND = 4 (Aceptable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), obteniendo un NR = 24 (Tolerable).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, ya que los riesgos asociados a la ventilación deficiente y a la detección de fugas mediante olores característicos fueron identificados en ambas instalaciones. Sin embargo, se concluyó que el GLP presentó un mayor riesgo, con un NR = 200 en ventilación y un NR = 72 en detección de fugas, mientras que el GNS mostró valores más bajos, con un NR = 96 y 24, respectivamente.

4.13.2 Contraste de la segunda hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la inhalación de gases procedentes de la mala combustión, en el comedor estudiantil de la UNI, son la concentración de CO, eficiencia de la combustión y presencia de hollín o residuos.

ii. Contraste y análisis. El análisis evidenció que la formación de monóxido de carbono (CO) y la eficiencia de combustión son factores relevantes en ambas instalaciones. En el GLP, la generación de CO fue más frecuente debido a problemas de calibración en los quemadores, alcanzando un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NP = 24. Las consecuencias asociadas fueron calificadas con un NC = 4 (Lesión moderada), resultando en un NR = 96 (Moderado). En el GNS, la combustión más limpia redujo significativamente la formación de CO, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 54 (Moderado).

La formación de hollín y residuos fue considerablemente mayor en el GLP, como resultado de una combustión incompleta. Este factor se calificó con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 3 (Lesión leve), obteniendo un NR = 54 (Tolerable). Por el contrario, en el GNS, la formación de hollín fue prácticamente inexistente debido a su composición química y su combustión eficiente. Este riesgo se calificó con un ND = 4 (Aceptable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 2 (Daño insignificante), resultando en un NR = 16 (Trivial).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, ya que se identificaron riesgos significativos asociados a la mala combustión, especialmente en el GLP, con un NR de 96 en formación de CO y un NR de 54 en generación de hollín. Por otro lado, el GNS presentó menores niveles de riesgo, con valores de NR = 54 y 16, respectivamente.

4.13.3 Contraste de la tercera hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al contacto con el gas líquido, en el comedor estudiantil de la UNI, son el almacenamiento de gas líquido, el estado de los recipientes y la protección contra derrames.

ii. Contraste y análisis. En el GLP, el almacenamiento en cilindros y tanques presurizados fue identificado como un riesgo relevante debido a la alta presión operativa y al deterioro en algunos recipientes. Este riesgo fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), obteniendo un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, el almacenamiento en estado gaseoso presentó un riesgo menor, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), resultando en un NR = 36 (Moderado).

Respecto a la protección contra derrames, el GLP presentó mayores deficiencias al carecer de sistemas adecuados de contención. Este factor fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), resultando en un NR = 96 (Moderado). En el GNS, este riesgo fue casi insignificante debido a su estado gaseoso, calificándose con un ND = 4 (Aceptable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Daño menor), con un NR = 24 (Tolerable).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, destacando que el GLP presentó un mayor nivel de riesgo en esta dimensión, con un NR máximo de 96, mientras que el GNS tuvo valores significativamente más bajos, con un NR de 36.

4.13.4 Contraste de la cuarta hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados al incendio y explosión, en el comedor estudiantil de la UNI, son el nivel de fuga de gas, la existencia de sistemas de detección y extinción, y las condiciones de las instalaciones eléctricas.

ii. Contraste y análisis. En el GLP, la probabilidad de fugas de gas fue alta debido a la presión de almacenamiento y a fallas en las conexiones. Este riesgo fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 4 (Continuo), y un NC = 4 (Lesión moderada), obteniendo un NR = 128 (Importante). En el GNS, el riesgo fue menor debido a su menor presión operativa, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 54 (Moderado).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, ya que el GLP presentó un mayor riesgo asociado a incendios y explosiones, con un NR máximo de 128, mientras que el GNS tuvo niveles moderados, con un NR de 54.

4.13.5 Contraste de la quinta hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados directamente con la instalación, en el comedor estudiantil de la UNI, son la calidad de las conexiones, la resistencia de las tuberías y la adecuación del espacio de instalación.

ii. Contraste y análisis. Del análisis de riesgo, se determinó que los problemas relacionados con las instalaciones físicas fueron más críticos en las del GLP. La calidad de las conexiones presentó signos de desgaste y corrosión, lo que incrementó el riesgo de fugas. Este factor fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), obteniendo un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, las conexiones y válvulas fueron más robustas, lo que redujo significativamente el riesgo, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), resultando en un NR = 36 (Moderado).

En cuanto a la resistencia de las tuberías, se detectaron deficiencias en las instalaciones de GLP, especialmente en las zonas expuestas a cambios de temperatura y presión, lo que incrementó el riesgo de fallos. Este factor alcanzó un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, la presión operativa más baja y la mayor calidad del material redujeron este riesgo, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), resultando en un NR = 36 (Moderado).

Finalmente, en la adecuación del espacio de instalación, las áreas destinadas al almacenamiento de GLP fueron más propensas a incidentes debido a la insuficiente ventilación y falta de espacio para maniobras seguras. Este riesgo fue clasificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, el espacio y disposición de los sistemas fueron más adecuados, obteniendo un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 36 (Moderado).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, ya que se identificaron riesgos importantes relacionados con las instalaciones de GLP, con un NR máximo de 96 en calidad de conexiones, resistencia de tuberías y adecuación del espacio. En el caso del GNS, estos riesgos se mantuvieron en niveles más bajos, con un NR de 36, debido a la menor presión operativa y mejor disposición de las instalaciones.

4.13.6 Contraste de la sexta hipótesis específica

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP, asociados a la evaluación de la infraestructura, en el comedor estudiantil de la UNI, son las condiciones estructurales del área de almacenamiento, calidad del sistema de ventilación y protección contra incendios.

ii. Contraste y análisis. En las instalaciones de GLP, las condiciones estructurales del área de almacenamiento presentaron deficiencias significativas, como grietas y falta de refuerzos adecuados, lo que incrementó el riesgo de incidentes. Este factor fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), obteniendo un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, la infraestructura fue más robusta, con menor probabilidad de fallos estructurales, obteniendo un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 36 (Moderado).

En cuanto al sistema de ventilación, las instalaciones de GLP mostraron insuficiencia en la extracción de gases, lo que aumentó la probabilidad de acumulaciones peligrosas en caso de fugas. Este factor fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), resultando en un NR = 96 (Moderado).

En el GNS, la ventilación fue más adecuada, con menor probabilidad de acumulación de gas, obteniendo un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 36 (Moderado).

Finalmente, en la protección contra incendios, las instalaciones de GLP carecieron de sistemas automáticos de detección y extinción, lo que incrementó significativamente el riesgo. Este factor fue calificado con un ND = 8 (Deficiente), un NE = 3 (Frecuente), y un NC = 4 (Lesión moderada), obteniendo un NR = 96 (Moderado). En el caso del GNS, la infraestructura contó con mejores sistemas de seguridad, calificándose con un ND = 6 (Mejorable), un NE = 2 (Ocasional), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 36 (Moderado).

iii. Conclusión. La hipótesis es aceptada, ya que los riesgos asociados a la infraestructura en las instalaciones de GLP fueron significativamente mayores, alcanzando un NR máximo de 96 en condiciones estructurales, ventilación y protección contra incendios. En el caso del GNS, estos riesgos se mantuvieron en niveles más bajos, con un NR de 36 en todas las dimensiones evaluadas.

4.13.7 Contraste de la hipótesis general

i. Hipótesis. Los riesgos de las instalaciones de GNS/GLP en el comedor estudiantil de la UNI, están asociados a los riesgos en inhalación directa, Inhalación de gases procedentes de la mala combustión, Contacto con el gas líquido, Incendio y explosión, Riesgos en la instalación y Evaluación de la infraestructura. Además, el plan de mitigación de los riesgos logrará reducir los riesgos.

ii. Pruebas.

Tabla 39

Resumen de riesgos identificados según dimensiones del estudio

Dimensión	GLP (Gas Licuado de Petróleo)	Gas natural seco (GNS)
Inhalación Directa	• Acumulación en áreas bajas como cocinas, cuartos de válvulas y almacenes técnicos, debido a que el GLP es más pesado que el aire. • Mayor riesgo en espacios confinados sin ventilación adecuada.	• Acumulación en espacios cerrados como cocinas y áreas técnicas, ya que el gas natural seco es más ligero que el aire, pero puede concentrarse en techos o esquinas altas si la ventilación es deficiente.

Dimensión	GLP (Gas Licuado de Petróleo)	Gas natural seco (GNS)
		Riesgo menor de acumulación en comparación con el GLP.
Inhalación de Gases de Mala Combustión	- Formación de monóxido de carbono (CO) en quemadores no calibrados o mal mantenidos en cocinas, incrementando el riesgo de intoxicación. - Presencia de hollín en equipos mal ajustados.	- Generación de CO en cocinas debido a combustión incompleta en quemadores no compatibles o mal ajustados. - Menor formación de hollín debido a las propiedades de combustión más limpia del gas natural seco en comparación con el GLP.
Contacto con el Gas	- Fugas en tuberías y conexiones debido a materiales defectuosos o deteriorados. - Mayor riesgo por contacto directo, ya que el GLP es líquido a presión y puede causar quemaduras frías en caso de fuga.	- Fugas en tuberías y conexiones, principalmente en zonas con tránsito cercano. - Menor riesgo de contacto directo, ya que el gas natural seco se mantiene en estado gaseoso bajo presión y no produce efectos físicos directos como quemaduras.
Incendio y Explosión	- Alta inflamabilidad en caso de acumulación en espacios bajos como almacenes técnicos o ductos de ventilación. - Mayor potencial explosivo debido a que el GLP tiene un límite de inflamabilidad más amplio y se mezcla fácilmente con el aire.	- Riesgo de acumulación y explosión en espacios cerrados como cuartos técnicos y cocinas. - Menor potencial explosivo comparado con el GLP, pero sigue siendo peligroso si se acumula en zonas confinadas sin detección adecuada.
Riesgos en la Instalación	- Mayor deterioro en tuberías y conexiones debido a la naturaleza corrosiva del GLP, especialmente en sistemas metálicos expuestos. - Mayor necesidad de recubrimientos protectores en tuberías aéreas y conexiones expuestas.	- Menor deterioro general en tuberías y conexiones, pero aún existe riesgo si los materiales no cumplen con las normativas. - Mayor facilidad para trabajar con gas natural seco debido a sus características menos corrosivas que el GLP.
Evaluación de la Infraestructura	- Ventilación insuficiente en cocinas y cuartos de válvulas, aumentando el riesgo de acumulaciones peligrosas. - Alta necesidad de sistemas de detección y extinción especializados debido al mayor riesgo de incendios y explosiones.	- Deficiencias en ventilación cruzada en cocinas y cuartos técnicos, aunque el gas se dispersa más fácilmente. - Menor necesidad de sistemas de extinción especializados, aunque se requieren detectores de gas y monóxido de carbono en todas las áreas críticas.

Nota: Elaboración propia

iii. Conclusión. La hipótesis general es aceptada, ya que los riesgos asociados a las instalaciones de GNS/GLP fueron identificados y evaluados en todas las dimensiones planteadas. Además, el plan de mitigación logró reducir significativamente los niveles de riesgo, aunque el GLP sigue siendo el combustible con mayores exigencias de seguridad debido a su naturaleza y condiciones de operación.

4.14 Discusión de resultados

Sobre el resultado general del presente estudio, que identifica mayores niveles de riesgo en las instalaciones de GLP comparadas con las de GNS, se alinea con diversos antecedentes relacionados con la gestión y evaluación de riesgos en la industria del petróleo y gas. La conclusión es similar al hallazgo de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes indicaron que los riesgos en instalaciones de gas suelen ser elevados debido a factores como fallas estructurales, mantenimiento insuficiente y deficiencias en las condiciones operativas. En este estudio, la implementación de un sistema de control de calidad y gestión de riesgos redujo significativamente la probabilidad de incidentes, lo que guarda relación con los resultados de este trabajo, donde el plan de mitigación diseñado logró disminuir los niveles de riesgo en ambas instalaciones.

Asimismo, la conclusión se parece al estudio de Sekhar y Agarwal (2024), quienes enfatizan la relevancia de las evaluaciones cuantitativas de riesgos (QRA) como herramienta para gestionar peligros inherentes a instalaciones de gas. En particular, destacan la utilidad de los modelos de dispersión y combustión para prever escenarios de riesgo y establecer medidas de mitigación efectivas, lo cual concuerda con la aplicación del plan de mitigación desarrollado en este trabajo. Por otro lado, otro estudio parecido es el de Abdoul et al. (2021), quienes identificaron que el riesgo asociado a tuberías de GNS puede ser manejado eficientemente mediante la integración de matrices de riesgo y análisis de frecuencia. Sin embargo, señalan que el GNS presenta menores riesgos en comparación con otros combustibles debido a sus características físicas, lo que respalda los resultados de este estudio donde el GNS mostró niveles de riesgo mayoritariamente moderados. De igual manera, Silva, Contreras y Barrandeguy (2022) encontraron en su

análisis del GLP que las fugas y acumulaciones representan un riesgo significativo, particularmente en áreas con ventilación deficiente. Este resultado refuerza la conclusión de este trabajo, donde el GLP alcanzó un NR de 200 (Importante) en varias dimensiones debido a problemas de acumulación y almacenamiento. También, el estudio de Venegas et al. (2018), que analizó los riesgos del GLP en cilindros versus tanques estacionarios, concluyó que los riesgos operativos pueden mitigarse significativamente mediante mejoras en infraestructura y sistemas de monitoreo, lo cual coincide con las recomendaciones del presente trabajo respecto al uso de mejores prácticas operativas y la implementación de un sistema de mitigación para reducir los riesgos asociados a este combustible.

En el contexto teórico, Según Luján (2014), la gestión de riesgos comprende la identificación, análisis cualitativo y cuantitativo, y la implementación de respuestas para controlar los riesgos identificados. En el presente análisis, la aplicación de estas etapas permitió establecer que el GLP presenta un mayor nivel de riesgo en comparación con el GNS, lo cual concuerda con las características físico-químicas del GLP descritas por Venegas et al. (2023), quienes indican que su mayor densidad lo hace propenso a acumularse en espacios confinados, aumentando su peligrosidad.

La relación hallada entre los niveles de riesgo y las propiedades del GLP está alineada con la normativa técnica peruana NTP 321.121, la cual establece requisitos estrictos para el diseño y operación de instalaciones de GLP, destacando la necesidad de medidas adicionales en comparación con instalaciones de GN. Asimismo, la normativa NTP 321.127 resalta la importancia de la ventilación adecuada para mitigar riesgos en espacios confinados, un factor crítico en las instalaciones de GLP.

Por otro lado, el resultado se asemeja al estudio de Sekhar y Agarwal (2024), quienes señalan que los sistemas de evaluación de riesgos cuantitativos (QRA) en la industria del gas han revelado mayores riesgos asociados a combustibles líquidos o licuados como el GLP, debido a su capacidad de generar incendios y explosiones en condiciones específicas. Esto valida la conclusión de que el GLP requiere una gestión más estricta, especialmente en sistemas de almacenamiento y uso en espacios cerrados.

Finalmente, el plan de mitigación implementado, que logró reducir los riesgos en ambas instalaciones, refleja la efectividad de estrategias similares recomendadas por Silva, Contreras y Barrandeguy (2022), quienes enfatizan la importancia de planes de contingencia específicos para las características de cada combustible, especialmente en entornos urbanos.

En cuanto al primer resultado específico, el análisis de los riesgos relacionados con la inhalación directa mostró que el GLP, debido a su alta densidad, presentó un NR de 200 (Importante), mientras que el GNS, con su menor densidad, alcanzó un NR de 96 (Moderado). Estos resultados son similares al hallazgo de Silva, Contreras y Barrandeguy (2022), quienes identificaron que el GLP presenta mayores riesgos en entornos confinados debido a su tendencia a acumularse en áreas bajas, especialmente en condiciones de ventilación insuficiente. Asimismo, destacaron la importancia de contar con sistemas de detección automática, recomendación que también se planteó en este estudio. Otro estudio parecido es el de Oyamienlen, Nwaogazie y Chinemerem (2023), quienes analizaron los riesgos laborales en instalaciones offshore y concluyeron que los gases pesados, como el GLP, tienen mayor probabilidad de acumulación en zonas específicas, lo que incrementa significativamente el riesgo de inhalación. Este hallazgo respalda los resultados obtenidos en este trabajo, donde el GLP presentó un riesgo elevado debido a su comportamiento físico.

Además, el resultado se parece al estudio de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes señalaron que las condiciones de ventilación y la acumulación de materiales en áreas críticas son factores que aumentan la probabilidad de incidentes. En este trabajo, estos factores fueron determinantes para clasificar el riesgo del GLP como importante. Por otro lado, el hallazgo se asemeja a lo reportado por Venegas et al. (2018), quienes indicaron que el almacenamiento de GLP en cilindros representa mayores riesgos para la salud y la seguridad en comparación con otros combustibles. Este resultado coincide con las observaciones realizadas en este estudio, donde el almacenamiento y la ventilación insuficiente incrementaron el riesgo de inhalación en instalaciones de GLP. Además, el

estudio de Jurado y Torres (2022), aunque enfocado en la seguridad del suministro de GN en Colombia, identificó que este combustible presenta menores riesgos asociados a fugas debido a su rápida dispersión en espacios abiertos, lo que concuerda con el menor nivel de riesgo observado en las instalaciones de GNS en este trabajo.

Por el lado del segundo resultado específico, el análisis mostró que el GLP presentó un NR de 96 (Moderado) debido a una mayor formación de monóxido de carbono (CO) y hollín, mientras que el GNS alcanzó un NR de 54 (Tolerable) gracias a su mayor eficiencia de combustión. Este resultado es similar al hallazgo de Sekhar y Agarwal (2024), quienes destacaron que el análisis de consecuencias mediante modelos de dispersión y combustión demuestra que el GNS genera menos subproductos tóxicos debido a su naturaleza más limpia. Este hallazgo refuerza las observaciones realizadas en este trabajo. Otro estudio parecido es el de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes encontraron que el mantenimiento inadecuado de equipos puede incrementar la probabilidad de formación de gases tóxicos en instalaciones de gas. Este resultado es congruente con las conclusiones de este trabajo, donde el mantenimiento insuficiente de los quemadores en las instalaciones de GLP fue identificado como un factor crítico para la generación de CO y hollín. Además, el resultado se parece al estudio de Abdoul et al. (2021), quienes identificaron que los riesgos asociados a la combustión pueden mitigarse mediante inspecciones regulares y análisis de frecuencia. Estas medidas coinciden con las recomendaciones de este trabajo respecto a la necesidad de implementar un plan de mantenimiento preventivo en las instalaciones de GLP. De igual manera, Silva, Contreras y Barrandeguy (2022) indicaron que la combustión incompleta del GLP en entornos urbanos representa un riesgo moderado para la salud, especialmente en espacios confinados. Este hallazgo guarda relación con los resultados obtenidos en este estudio, donde el GLP presentó mayores riesgos en comparación con el GNS debido a su menor eficiencia de combustión.

Para el tercer resultado específico, el análisis de los riesgos relacionados con el contacto con el gas líquido mostró que el GLP presentó un Nivel de Riesgo (NR) de 150

(Importante) debido a su almacenamiento bajo presión y a la posibilidad de contacto directo con el líquido durante fugas. En contraste, el GNS obtuvo un NR de 96 (Moderado), dado que su estado gaseoso reduce significativamente este riesgo. Este resultado es similar al hallazgo de Silva, Contreras y Barrandeguy (2022), quienes concluyeron que el GLP representa un mayor riesgo en términos de almacenamiento, especialmente en espacios confinados y con ventilación insuficiente, mientras que el GN mostró un mejor desempeño debido a su estado natural de almacenamiento.

El resultado también se parece al estudio de Venegas et al. (2018), quienes evaluaron el uso de cilindros de GLP frente a tanques estacionarios y concluyeron que los cilindros presentan un mayor riesgo operativo debido a la manipulación frecuente y la falta de sistemas adecuados de contención. Este hallazgo refuerza las observaciones realizadas en este trabajo, donde el almacenamiento de GLP en cilindros fue identificado como un factor crítico de riesgo. Además, otro estudio parecido es el de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes señalaron que los riesgos asociados al contacto con el gas líquido pueden mitigarse mediante la implementación de inspecciones frecuentes y el uso de materiales resistentes a la corrosión. Estas medidas coinciden con las recomendaciones de este trabajo para reducir los riesgos relacionados con el GLP. Por otro lado, el resultado es similar al estudio de Oyamienlen, Nwaogazie y Chinemerem(2023), quienes encontraron que el contacto con líquidos inflamables representa un riesgo crítico en instalaciones offshore, lo cual coincide con el análisis de este trabajo, donde el GLP mostró mayores riesgos en comparación con el GNS.

Correspondiente al cuarto resultado específico, el análisis mostró que el GLP presentó un NR de 200 (Importante) debido a su amplio rango de inflamabilidad (2%- 10%) y su tendencia a acumularse en espacios confinados. Por su parte, el GNS alcanzó un NR de 96 (Moderado), dado que su menor rango de inflamabilidad (5%- 15%) y su rápida dispersión redujeron el riesgo de acumulaciones peligrosas. Este resultado es congruente con el hallazgo de Sekhar y Agarwal (2024), quienes indicaron que el análisis de consecuencias basado en modelos de dispersión y combustión demuestra que los

combustibles con rangos de inflamabilidad más amplios presentan mayores riesgos de explosión, tal como se evidenció en el GLP. Otro estudio similar es el de Abdoul et al. (2021), quienes identificaron que los incendios de chorro y las bolas de fuego son riesgos significativos asociados a combustibles gaseosos, particularmente en entornos donde la ventilación es insuficiente. Este hallazgo refuerza las observaciones realizadas en este trabajo, donde el GLP presentó mayores riesgos debido a su inflamabilidad y a las condiciones estructurales de las instalaciones. Además, el resultado se parece al estudio de Silva, Contreras y Barrandeguy (2022), quienes concluyeron que las fugas de GLP en zonas urbanas representan un riesgo crítico para la seguridad de las comunidades debido a la posibilidad de deflagraciones y explosiones. Este hallazgo es congruente con las conclusiones de este trabajo, donde el GLP mostró un mayor nivel de riesgo en comparación con el GNS. Por otro lado, Kosmalski y Myrczec (2018) destacaron que los riesgos de explosión en instalaciones de gas pueden reducirse significativamente mediante el uso de sistemas de detección automática y la mejora de las condiciones estructurales. Estas recomendaciones coinciden con las medidas de mitigación planteadas en este estudio para reducir los riesgos asociados al GLP.

En cuanto al quinto resultado específico, el análisis mostró que el GLP alcanzó un NR de 200 (Importante) debido a las deficiencias críticas en las conexiones y al mantenimiento insuficiente de las tuberías, mientras que el GNS presentó un NR de 96 (Moderado) gracias a mejores condiciones estructurales. Este resultado es similar al estudio de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes señalaron que las fallas en las conexiones y el mantenimiento inadecuado son factores de riesgo comunes en las instalaciones de gas, lo que refuerza las observaciones realizadas en este trabajo. El resultado se asemeja al estudio de Sekhar y Agarwal (2024), quienes indicaron que el análisis de fallas mediante técnicas como el análisis de árbol de fallos (FTA) es esencial para identificar los puntos críticos en las instalaciones de gas. Estas recomendaciones coinciden con las observaciones realizadas en este trabajo, donde se propuso un plan de mitigación para reducir los riesgos asociados a las instalaciones de GLP. Por otro lado, Venegas et al.

(2018) destacaron que los cilindros de GLP presentan un mayor riesgo debido a la exposición de sus componentes y a la falta de sistemas adecuados de monitoreo, lo cual guarda relación con las conclusiones de este trabajo. Finalmente, el hallazgo se parece al estudio de Oyamienlen, Nwaogazie y Chinemerem (2023), quienes concluyeron que las conexiones defectuosas y el mantenimiento insuficiente son causas raíz de incidentes en instalaciones de gas. Este resultado refuerza las observaciones realizadas en este trabajo.

Por el lado del sexto resultado específico, el análisis mostró que el GLP presentó un NR de 200 (Importante) debido a la insuficiente ventilación y a la falta de sistemas de extinción automáticos, mientras que el GNS obtuvo un NR de 96 (Moderado) gracias a mejores condiciones estructurales. Este resultado es congruente con el hallazgo de Silva et al. (6), quienes identificaron que las deficiencias en la ventilación y en los sistemas de detección aumentan significativamente el riesgo de incidentes en instalaciones de GLP, lo cual coincide con las observaciones realizadas en este trabajo. Otro estudio parecido fue el de Kosmalski y Myrczec (2018), quienes señalaron que las condiciones estructurales inadecuadas y la falta de sistemas de seguridad son factores determinantes en la evaluación de riesgos de infraestructura. Este hallazgo respalda las conclusiones de este trabajo, donde el GLP presentó mayores riesgos debido a estas deficiencias.

Por otro lado, Sekhar y Agarwal (2024) indicaron que el uso de modelos de dispersión y combustión permite prever los escenarios más críticos en instalaciones de gas y establecer medidas preventivas. Este enfoque es congruente con las estrategias propuestas en este trabajo para mejorar las condiciones de infraestructura. Finalmente, el estudio de Venegas et al. (2018) destacó que los tanques estacionarios de GLP requieren una infraestructura robusta y sistemas de monitoreo avanzados para garantizar la seguridad, lo que refuerza las recomendaciones planteadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

Se identificaron y evaluaron los riesgos asociados a las instalaciones de Gas natural seco (GNS) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el comedor estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Estos riesgos estuvieron relacionados con dimensiones clave como inhalación directa, emisiones de gases de combustión, contacto con el gas líquido, incendios y explosiones, condiciones de las instalaciones, y la evaluación de la infraestructura. Del análisis se concluyó que el GLP presentó mayores niveles de riesgo, alcanzando un Nivel de Riesgo (NR) de 200 (Importante) en varias dimensiones, mientras que el GNS se mantuvo mayoritariamente en niveles moderados ($NR \leq 96$). Asimismo, el plan de mitigación diseñado permitió reducir el riesgo en ambas instalaciones, logrando que el GLP disminuyera sus riesgos importantes a moderados y que el GNS mejorara sus condiciones generales, asegurando mayor seguridad operativa. Estos resultados validan la efectividad de las estrategias implementadas.

Se describieron los riesgos de las instalaciones de GN/GLP asociados a la inhalación directa, estos riesgos se asociaron a la acumulación de gas en espacios confinados y la detección de fugas mediante olores característicos. Es así que, en el GLP (Código GLP- R1), su alta densidad incrementa la probabilidad de acumulación en áreas bajas como cocinas y cuartos de válvulas. Este riesgo obtuvo un ND = 10 (Muy Deficiente), un NP = 40 (Alta probabilidad), y un NC = 5 (Lesión grave), resultando en un NR = 200 (Importante). Por otro lado, en el GN (Código GN-R1), su menor densidad redujo el riesgo de acumulación, alcanzando un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). En suma, el GLP presentó un riesgo mayor debido a su tendencia a acumularse en espacios confinados, mientras que el GNS mostró condiciones más seguras en esta dimensión.

Se identificaron los riesgos asociados a las emisiones de gases de combustión. Estos riesgos evaluados incluyeron la generación de monóxido de carbono (CO) y la presencia de hollín como consecuencia de combustión incompleta. En el GLP (Código

GLP-R3), se identificó mayor formación de CO y residuos de hollín debido al mantenimiento insuficiente de los quemadores. Este riesgo alcanzó un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). Por su lado, en el GNS (Código GN-R3), se observó una menor generación de CO y hollín gracias a su mayor eficiencia de combustión, obteniendo un ND = 6 (Mejorable), un NP = 18 (Baja probabilidad), y un NC = 3 (Lesión leve), con un NR = 54 (Tolerable). En suma, el GLP presentó mayores riesgos debido a su combustión menos eficiente, mientras que el GNS mostró un desempeño más seguro en esta dimensión.

Se evaluaron los riesgos asociados al contacto con el gas líquido. Estos riesgos son derivados del almacenamiento y el contacto con gas líquido durante fugas. En el GLP (Código GLP-R5), el almacenamiento bajo presión aumentó el riesgo, alcanzando un ND = 10 (Muy Deficiente), un NP = 30 (Alta probabilidad), y un NC = 5 (Lesión grave), resultando en un NR = 150 (Importante). Para el GNS (Código GN-R5), el almacenamiento gaseoso redujo significativamente este riesgo, obteniendo un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). Por lo tanto, el GLP mostró un riesgo mayor debido a sus características de almacenamiento.

Se identificaron los riesgos asociados a incendios y explosiones. Estos riesgos, se evaluaron factores como el rango de inflamabilidad y la acumulación de gas en espacios confinados. Es así que, en el GLP (Código GLP-R6), su amplio rango de inflamabilidad (2%-10%) y la acumulación en espacios cerrados incrementaron el riesgo, obteniendo un ND = 10 (Muy Deficiente), un NP = 40 (Alta probabilidad), y un NC = 5 (Daño crítico), resultando en un NR = 200 (Importante). Asimismo, en el GNS (Código GN-R6), su menor rango de inflamabilidad (5%-15%) y mayor dispersión redujeron el riesgo, con un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). En conclusión, el GLP presentó un mayor riesgo de incendio y explosión, especialmente en espacios cerrados.

Se evaluaron los riesgos relacionados con las instalaciones. Para estos riesgos, se analizaron factores como la calidad de las conexiones y la resistencia de las tuberías.

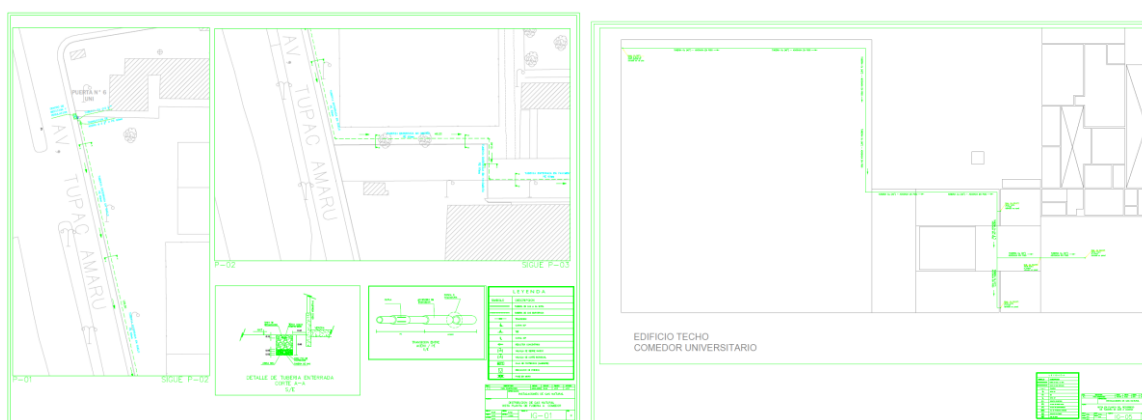
Entonces, para el GLP (Código GLP-R8), se identificaron deficiencias críticas en las conexiones y mantenimiento de las tuberías, alcanzando un ND = 10 (Muy Deficiente), un NP = 40 (Alta probabilidad), y un NC = 5 (Daño crítico), con un NR = 200 (Importante). Por su lado, en el GNS (Código GN-R8), se observaron mejores condiciones, obteniendo un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). En suma, el GLP mostró un mayor riesgo debido a la exposición de sus componentes.

Se describieron los riesgos relacionados con la evaluación de la infraestructura, estos fueron la calidad estructural y los sistemas de ventilación. Por el lado del GLP (Código GLP-R11), se detectó ventilación insuficiente y ausencia de sistemas de extinción automáticos, alcanzando un ND = 10 (Muy Deficiente), un NP = 40 (Alta probabilidad), y un NC = 5 (Daño crítico), con un NR = 200 (Importante). Por el lado de GNS (Código GN-R11), la infraestructura presentó menores deficiencias, obteniendo un ND = 8 (Deficiente), un NP = 24 (Media probabilidad), y un NC = 4 (Lesión moderada), con un NR = 96 (Moderado). Por tanto, se concluye que, el GLP presentó mayores riesgos en infraestructura debido a su mayor vulnerabilidad.

RECOMENDACIONES

Dirigida a la administración del comedor estudiantil de la UNI, se recomienda implementar los resultados del análisis de riesgos, llevando adelante las medidas propuestas en el plan de mitigación para garantizar la seguridad de las instalaciones de GNS y GLP, priorizando la reducción de riesgos importantes a niveles moderados o tolerables. Este proceso debe incluir la instalación de sistemas de detección y extinción automáticos, así como una mejora en los protocolos de mantenimiento.

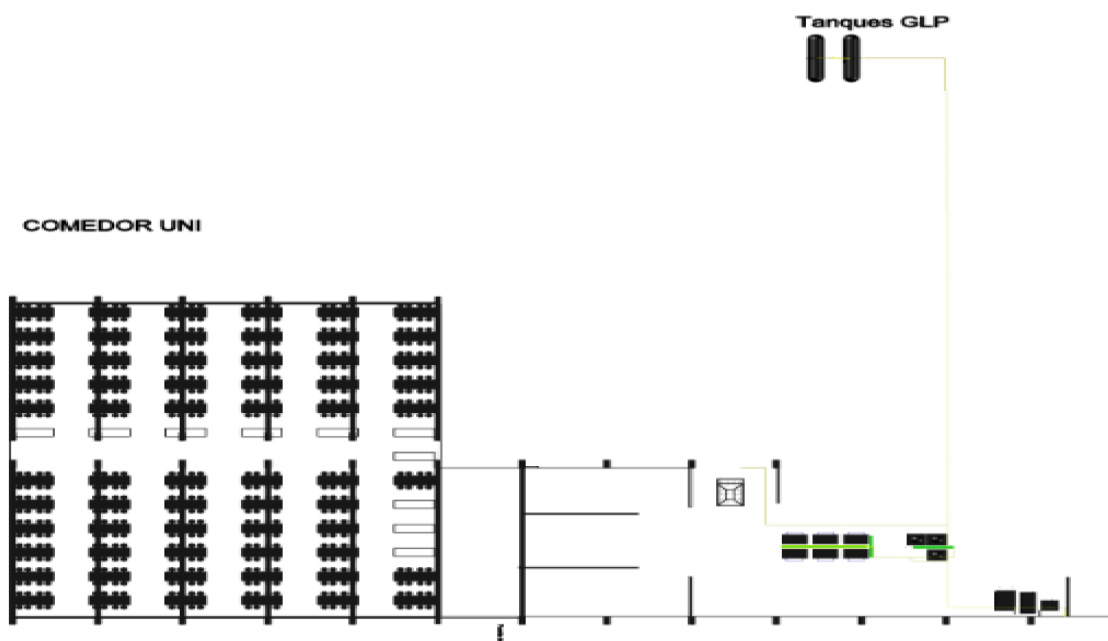
Dirigida al personal técnico responsable de las instalaciones de GNS y GLP, se recomienda mejorar la ventilación cruzada y activa en todas las áreas donde se manipulen y almacenen GLP y GNS. Esto incluye la instalación de sistemas de ventilación mecánica en espacios cerrados y la adecuación de las áreas críticas para evitar la acumulación de gas. Estas acciones deben alinearse con las normas técnicas vigentes, como las NTP aplicables.



Elaboración propia: Distribución de tuberías para GNS.

Adjunto los planos de cómo debería ser el tendido de tubería para GNS desde la

Puerta N°6 de la Universidad Nacional de Ingeniería, para su aplicar el plan de mitigación.



Elaboración Propia: Distribución de Tuberías para GLP.

Dirigida al área de mantenimiento del comedor estudiantil, se recomienda realizar inspecciones periódicas y ajustes en los quemadores, priorizando el mantenimiento preventivo de los equipos que utilizan GLP y GNS. Esto reducirá la probabilidad de emisiones de monóxido de carbono (CO) y residuos de hollín, mejorando la eficiencia de combustión. Además, se sugiere implementar detectores de CO en las áreas donde operen los sistemas de combustión.

Dirigida al área de seguridad industrial de la UNI, se recomienda instalar sistemas de contención para derrames en las zonas de almacenamiento de GLP, así como garantizar que los cilindros y tanques estén en condiciones óptimas mediante inspecciones regulares. Estas medidas reducirán el riesgo de contacto directo con el gas líquido en caso de fugas.

Dirigida a la administración del comedor estudiantil, se recomienda instalar sistemas de detección y extinción de incendios automáticos en todas las áreas donde se almacenen o utilicen GLP y GNS. Además, se debe realizar un adiestramiento periódico del personal en el uso de estos sistemas y en la respuesta a emergencias, priorizando simulacros para incidentes con combustibles.

Dirigida a los diseñadores e ingenieros encargados de las instalaciones, se recomienda mejorar la calidad de las conexiones y tuberías utilizadas en las instalaciones de GLP y GNS. Esto debe incluir el uso de materiales certificados según las normativas técnicas vigentes, así como inspecciones regulares para detectar desgaste, corrosión o puntos de fuga en las conexiones.

Considerando que el sistema de abastecimiento y almacenamiento de GLP puede verse afectado por fenómenos geográficos como sismos, deslizamientos de tierra o inundaciones, se recomienda implementar medidas estructurales y operativas orientadas a garantizar la continuidad y seguridad del servicio. Entre estas medidas destacan:

- Ubicar los tanques de GLP en zonas geotécnicamente estables, lejos de taludes inestables o zonas de inundación, conforme a estudios del suelo y mapas de riesgo locales.
- Diseñar soportes antisísmicos y sistemas de anclaje para los tanques de almacenamiento, válvulas y tuberías, siguiendo normas nacionales e internacionales de protección sísmica.
- Establecer protocolos de inspección y mantenimiento preventivo posterior a eventos sísmicos o lluvias intensas que puedan haber comprometido la integridad del sistema.
- Contar con un plan de emergencia específico ante desastres naturales, incluyendo rutas de evacuación, corte automático de suministro, y capacitación al personal del comedor universitario sobre actuación ante incidentes relacionados con GLP.

Dirigida a las autoridades de infraestructura de la UNI, se recomienda realizar mejoras en las áreas estructurales de almacenamiento y manipulación de GLP y GNS, incluyendo la instalación de sistemas de ventilación mecánica, refuerzos estructurales y barreras de contención. Asimismo, se sugiere garantizar la adecuada señalización y zonificación de las áreas de riesgo, de acuerdo con los estándares de seguridad industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdoul Nasser, A.H., Dickson Ndalila, P., Mawugbe, E., Kouame, M., Mioumnde, A., & Yuxing, L. (2021). Mitigation of risks associated with gas pipeline failure by using quantitative risk management approach: a descriptive study on gas industry. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9(10), 1-19. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/10/1098/pdf?version=1634116989>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., y Vásquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis*. INUDI Perú. <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/view/22/16/32>
- Ballesteros Jerónimo, S., Ramón, M.F., y Martínez Arrieta, M.R. (2005). Intoxicaciones agudas en el hogar; exposiciones por inhalación. *Inf. Ter. Sist. Nac. Salud*, 29, 96-107. https://www.sanidad.gob.es/biblioPublic/publicaciones/docs/vol29_4IntoxicacionesAqHogar.pdf
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Universidad La Sabana
- Bessombes, C. (2024). *Perú, un país abundante en gas, pero no lo masifica*. La República. <https://larepublica.pe/economia/2024/01/14/peru-un-pais-abundante-en-gas-pero-no-lo-masifica-minem-osinergmin-gas-natural-gnv-glp-737217>.
- Bolaños Morera, P., y Chacón Araya, C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. *Med. Leg. Costa Rica*, 34(1), 1-10. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v34n1/2215-5287-mlcr-34-01-137.pdf>
- Cabezas Mejía, E.D., Andrade Naranjo, D., y Torres Santamaría, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. ESPE.
- Caiza Caiza, L.M., y De la Torre Zabala, H.G. (2019). *Benchmarking en la construcción aplicado a empresas pequeñas, medianas, y grandes de la zona 3 del Ecuador* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio UNACH.

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5940/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2019-0017.pdf>

Cantú, A., López, M., y Peirone, P. (2018). *Análisis de los factores que afectan la productividad de obras civiles*. Primera Jornada de Divulgación de la Carrera de Ingeniería Civil

Carro, R., y González, D. (2012). *Productividad y competitividad*. *Administración de las Operaciones*, (1), 1-18.

https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1607/1/02_productividad_competitividad.pdf

De la Cruz, A. (2022). *Evaluación de riesgos operativos para el sistema de transporte de gas natural de aguaytía energy S.R.L.* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9340/T010_46156284_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Díaz Andrade, G. (s.f.). Calidad del gas natural. Algunos aspectos a considerar para prestar con calidad el servicio de transporte de gas natural por ductos. *La Revista del Gas Natural*, 1(1), 134-145.

http://larevistadelgasnatural.osinerg.gob.pe/articulos_recientes/files/archivos/16.pdf

Dueñas Santana, J.A., y Orozco, J.L. (2019). Pronóstico de accidentes debido a incendios y explosiones en una empresa comercializadora de combustibles.

Revista +Ciencia, 7(20), 22-27. <https://goo.su/r2wMN>

Espinoza, C. (2010). *Investigación tecnológica*. Soluciones Gráficas S.A.C.

Fontalvo Herrera, T., De la Hoz Granadillo, E., y Morelos Gómez, J. (2017). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión Empresarial*, 15(2), 47-60.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6233008.pdf>

Galindo, M., y Viridiana, R. (2015). Productividad. *Estudios Económicos*, 1(1), 1-9.

<https://scholar.harvard.edu/files/vrios/files/201508-mexicoproductivity.pdf>

- Ghio Castillo, V. (2001). *Productividad en Obras de Construcción. Diagnóstico, crítica y propuesta*. Pontificia Universidad Católica del Perú Fondo Editorial.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/bitstreams/905c9a61-5aeb-42ed-8bfb-31e69dbe11c1/download>
- Gobierno del Perú (2024). *Explosión en grifo de Villa María del Triunfo deja un fallecido y más de 40 heridos*. Gob.pe.
<https://www.gob.pe/institucion/inbp/noticias/959029-explosion-en-grifo-de-villa-maria-del-triunfo-deja-un-fallecido-y-mas-de-40-heridos>
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., y Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología INUDI Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education
- INDECI. (2020). *Informe de emergencia N° 840 - 06/12/2020 / COEN - INDECI / 16:20 Horas (Informe N° 104)* [Archivo PDF]. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/11/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-840-6DIC2020-INCENDIO-URBANO-EN-EL-DISTRITO-DE-VILLA-EL-SALVADOR-LIMA-104.pdf>
- INFOBAE. (2024). *Explosión en Grifo de VMT: GESA llega a 282 acuerdos de indemnización con familias por daños a sus viviendas*. INFOBAE.
<https://www.infobae.com/peru/2024/05/30/explosion-en-grifo-de-vmt-gesa-llega-a-282-acuerdos-de-indemnizacion-con-familias-por-danos-a-sus-viviendas/>.
- INSHT. (2024). *NTP-1.058: Sector gasista: riesgos laborales en instalaciones de almacenamiento, transporte y distribución de gas*. Gobierno de España.
<https://www.insst.es/documents/94886/7803791/ntp-1058w.pdf/a68c53c7-e99d-4f96-b1bd-36492a0ab961?version=1.1&t=1727271102383&download=true>

- Jurado Gómez, E., y Torres Chinome, A.G. (2022). *Análisis de la seguridad en el abastecimiento de gas natural en Colombia en un medio plazo (2032)* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio UNIANDÉS.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/6b4b2363-9de4-4396-b29c-c9202781ee92/download>
- Kosmalski, S., & Myrczek, J. (2018). Risk Factors in a process of gas supply pipeline construction. *MATEC Web of Conferences*, (262), 1-6. https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/11/mateconf_krynica2018_07006.pdf
- Luján Ruiz, R.O. (2014). Gestión de riesgos en el sistema de distribución de gas natural de Lima y Callao según lineamientos “Recommendations on transmission and distribution practice” y la gestión de los riesgos del proyecto del PMI (2008). *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 7(1), 88-96.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855012.pdf>
- NFPA 54. (2024). *National Fire Protection Association. NFPA 54. National fuel gas code*. National Fire Protection Association
- NFPA 58. (2024). *Liquefied Petroleum Gas Code*. National Fire Protection Association
- OIT. (2016). *El recurso humano y la productividad*. Organización Internacional del Trabajo
- OSINERGMIN. (2012). *El gas natural y sus diferencias con el GLP*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas, 2012 [Archivo PDF].
<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>
- OSINERGMIN. (2012). *El gas natural y sus diferencias con el GLP*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas, 2012 [Archivo PDF].
<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>
- OSINERGMIN. (2017). *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú* [Archivo PDF].

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/EstudiosEconomicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf

Oyamienlen, O., Nwaogazie, I., & Chinemerem, P. (2023). Risk matrix as a tool for risk analysis for work-related hazard in offshore installation in the oil and gas industry. *Journal of Scientific Research and Reports*, 29(2), 1-9.

<https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/1727/3417>

Prieto Jiménez, N., González Silva, G. y Chaves Guerrero, A. (2019). Revisión del proceso de separación de fases del gas natural a alta presión en la industria Oil&Gas. *Entramado*, 15(1), 312-329.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7839422.pdf>

Ramírez Barbieri, J.C., y Huapaya Ramírez, O.M. (2022). Evaluación de riesgos en las estaciones de compresión de gas natural seco. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas. Metal. Cienc. Geogr.*, 25(50), 297-307. <https://goo.su/a7pCs>

Saldivia, F. (2022). *Modelo de gestión de la productividad en la industria de la construcción* [Tesis de maestría, Universidad del Desarrollo]. Repositorio UDD.

<https://repositorio.udd.cl/server/api/core/bitstreams/ca7e0509-da2c-42a7-9f96-bda695cce20a/content>

Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., y Mejía Sáenz, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma

Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma

Sekhar Mandal, C., & Agarwal, M. (2024). A review on quantitative risk assessments for oil and gas installations and changes in risk evaluation techniques. *Materialstoday: Proceedings*, 99(1), 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.059>

Silva, A., Contreras, R., y Barrandeguy, M. (2022). Riesgo por fugas accidentales de gas licuado de petróleo hacia trabajadores y comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén (Chile). *Obras y Proyectos*, 32(1), 66-77.

<https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n32/0718-2813-oyp-32-0066.pdf>

- Solórzano, N. (2003). *Técnicas de Investigación y Documentación*. Escuela Superior Politécnica del Litoral
- SPH. (2025). *Sociedad Peruana de Hidrocarburos*. Sphidrocarburos.com.
<https://sphidrocarburos.com/en/>.
- Tacillo, E. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Universidad Jaime Bausate y Meza
- Velito, E. (2024). *Explosión en grifo de VMT: la raíz del problema en las fugas de gas en Lima*. Gestión. <https://gestion.pe/peru/explosion-en-grifo-de-vmt-la-raiz-del-problema-en-las-fugas-de-gas-en-lima-primax-villa-maria-del-triunfo-noticia/>.
- Venegas Vásconez, D., Ayabaca Sarria, C., Celi Ortega, S., y Rocha Hoyos, J. (2018). El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador. *Innova Research Journal*, 3(1), 19-29. <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/331/548>
- Venegas Vásconez, D., Ayabaca Sarria, C., Reina Guzmán, S., Tipanluisa Sarchi, L., y Farías Fuentes, O. (2023). Sistemas de gas licuado de petróleo: una revisión sobre lineamientos de diseño y dimensionamiento. *Ingenius*, (31), 81-94.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9263247.pdf>

GLOSARIO

DCVG (Direct Current Voltage Gradient): Técnica de inspección utilizada para detectar y localizar defectos en recubrimientos de tuberías enterradas mediante gradientes de voltaje de corriente directa.

HEGPL (High-Efficiency Gas-Phase Lubrication): Método avanzado de lubricación en fase gaseosa utilizado en equipos y sistemas que operan con gas natural seco (GNS) o gas licuado de petróleo (GLP).

COMAH (Control of Major Accident Hazards Regulations): Normativa de seguridad que regula la gestión de riesgos de accidentes industriales mayores en instalaciones donde se manejan sustancias peligrosas.

QRA (Quantitative Risk Assessment): Evaluación Cuantitativa de Riesgos, metodología que permite medir y analizar los riesgos en instalaciones industriales a través de cálculos probabilísticos.

CFD (Computational Fluid Dynamics): Dinámica de Fluidos Computacional, técnica de simulación utilizada para modelar el comportamiento de fluidos, como el gas natural y el GLP, en diferentes escenarios.

RT (Riesgo Tolerable): Nivel de riesgo aceptable en una instalación, determinado con base en normativas y estándares de seguridad.

UT (Ultrasonido de Pruebas): Técnica de inspección no destructiva utilizada para detectar defectos en tuberías y componentes de instalaciones de GNS/GLP.

MT (Mantenimiento Técnico): Conjunto de actividades planificadas para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones de GNS/GLP.

PT (Prueba de Presión): Ensayo utilizado para verificar la integridad y resistencia de tuberías y tanques que contienen GNS/GLP, mediante la aplicación de presión controlada.

PHA (Process Hazard Analysis): Análisis de Peligros de Proceso, metodología utilizada para identificar y evaluar los peligros asociados a los procesos industriales con GNS/GLP.

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición, fenómeno peligroso en instalaciones de almacenamiento de GLP.

HAZOP (Hazard and Operability Study): Estudio de Peligros y Operabilidad, técnica utilizada para identificar riesgos en sistemas industriales mediante un análisis sistemático.

LOPA (Layer of Protection Analysis): Análisis de Capas de Protección, método de evaluación de riesgos que determina la efectividad de las medidas de seguridad en una instalación.

ATEX (Atmosphères Explosibles): Directiva europea que regula la protección contra explosiones en entornos con presencia de gases inflamables, como el GNS/GLP.

PSM (Process Safety Management): Gestión de la Seguridad de Procesos, conjunto de prácticas destinadas a la prevención de accidentes en instalaciones industriales de alto riesgo.

NFPA (National Fire Protection Association): Asociación Nacional de Protección contra Incendios, organización que desarrolla estándares y regulaciones para la seguridad contra incendios, incluyendo instalaciones de GNS/GLP.

RMP (Risk Management Plan): Plan de Gestión de Riesgos, documento que describe las estrategias y medidas implementadas para minimizar los peligros en una instalación.

LEL (Lower Explosive Limit): Límite Inferior de Explosividad, concentración mínima de un gas inflamable en el aire capaz de generar una explosión si hay una fuente de ignición.

UEL (Upper Explosive Limit): Límite Superior de Explosividad, concentración máxima de un gas inflamable en el aire por encima de la cual no se produce una explosión.

PPE (Personal Protective Equipment): Equipos de Protección Personal, elementos de seguridad utilizados por los trabajadores para minimizar riesgos en entornos industriales.