



REPÚBLICA DE PANAMÁ
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ANÁLISIS DE LOS ESPACIOS CONFINADOS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS
EN UNA PLANTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

TRABAJO DE GRADO DE LICENCIATURA PRESENTADO PARA OPTAR AL
GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Tutor: Michael Castillo
Autor: Rufino Daniel Varela Martínez

Ciudad de Panamá, 1 de julio de 2026



REPÚBLICA DE PANAMÁ
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**ANÁLISIS DE LOS ESPACIOS CONFINADOS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS
EN UNA PLANTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)**

**TRABAJO DE GRADO DE LICENCIATURA PRESENTADO PARA OPTAR AL
GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN
SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

Autor: Rufino Daniel Varela Martínez

Ciudad de Panamá, 1 de julio de 2026



Ciudad de Panamá, 1 de julio de 2026

Profesor (a)

Héctor Mazurkiewicz

Coordinador del Comité de Titulación de Estudios de Grado y Postgrado Presente En mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado de Licenciatura, presentado por el (la) Bachiller, Rufino Daniel Varela Martínez, para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Industrial con énfasis en seguridad y salud ocupacional considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.

Atentamente,

Michael Castillo

Línea de Investigación: Seguridad y Salud Ocupacional en el Sector Industrial



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**INFORME DE ACTIVIDADES DE TUTORÍA OPCIÓN DE TITULACIÓN DE
TRABAJO DE GRADO DE LICENCIATURA**

Carrera de Licenciatura: En Ingeniería Industrial Con Énfasis En Seguridad y Salud Ocupacional

Estudiante: Rufino Daniel Varela Martínez

Tutor: Prof. Michael Castillo

Título del trabajo de grado: Análisis de los Espacios Confinados y Evaluación de Riesgos en una Planta de Gas Licuado de Petróleo.

Línea de Investigación: Seguridad y Salud Ocupacional en el Sector Industrial.

SESIÓN	FECHA	HORA DE REUNIÓN	ASPECTO TRATADO	OBSERVACIÓN
1	13-4-2026	9.30 am	Solicitud de tutoría	
2	27-4-2026	7.40 pm	Revisión del titulo del anteproyecto	
3	7-5-2026	8.30 pm	Revisión del borrador	
4	17-5-2026	8.30 pm	Correcciones del anteproyecto	
5	20-5-2026	7.00 pm	Revisión del trabajo de grado	
6	25-5-2026	6.30 pm	Discusión sobre la introducción del trabajo	
7	5-6-2026	8.00 pm	Revisión del borrador del trabajo de grado	Correcciones
8	18-6-2026	11.00 am	Revisión del trabajo	observaciones
9	22-6-2026	4.00 pm	Ultima revisión	Correcciones listas

Titulo definitivo:

ANÁLISIS DE LOS ESPACIOS CONFINADOS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN UNA PLANTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO

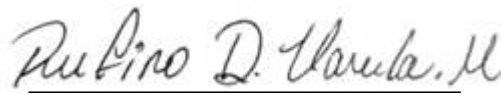
Comentarios finales acerca de la investigación: Declaramos que las especificaciones anteriores representan el proceso de dirección del trabajo de grado arriba mencionado.

Media Firma

Handwritten signature of Michael Castillo in blue ink, underlined.

Tutor

Media Firma

Handwritten signature of Rubino D. Varela M. in blue ink, underlined.

Estudiante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi vida. De manera muy especial, a mi madre, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus consejos y por ser mi mayor inspiración. Gracias por estar siempre a mi lado y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanas, por su cariño, comprensión y constante apoyo, por motivarme a seguir adelante y celebrar conmigo cada logro alcanzado. Asimismo, dedico este trabajo a mi amiga, quien en todo momento me brindó su apoyo, confianza y palabras de aliento. Gracias por creer en mis capacidades y por acompañarme durante este proceso tan importante.

A todos ustedes, que fueron un pilar fundamental en este camino, les dedico con profundo cariño y gratitud este logro, que también les pertenece. Con amor y agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar satisfactoriamente esta importante etapa académica.

A mi madre, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus consejos y por ser el pilar fundamental en mi vida. Gracias por creer siempre en mí y por brindarme el apoyo necesario para alcanzar esta meta.

A mis hermanas, por su cariño, comprensión y apoyo constante, así como por sus palabras de aliento y motivación durante todo este proceso.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor, Michael Castillo, por su orientación, dedicación y valiosos conocimientos aportados durante el desarrollo de este trabajo de grado. Su acompañamiento, disposición y asesoramiento fueron fundamentales para la culminación exitosa de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron al logro de esta meta, brindándome su apoyo y motivación para seguir adelante.

A todos ellos, mi más profunda gratitud por haber sido parte esencial de este importante logro académico y personal.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
PORTADA.....	i
PORTADA INTERNA	ii
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR (A).....	iii
INFORME DE ACTIVIDADES DE TUTORÍA OPCIÓN DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	18
I. PLANTEAMIENTO O ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	22
1.1 Antecedentes de la Empresa: Tropigas de Panamá.....	23
1.1.1 Operaciones de la Planta de Envasado de Tropigas de Panamá.....	25
1.1.2 Relevancia de la Empresa en el Sector Energético Nacional.....	27
1.2 Formulación del Problema.....	28
1.3 Objetivos.....	30
1.3.1 Objetivo General.....	30
1.3.2 Objetivos Específicos.....	31
1.4 Justificación	31
1.4.1 Justificación desde la Seguridad Laboral.....	32
1.4.2 Justificación Normativa	32
1.4.3 Justificación Técnica y Académica.....	33
1.4.4 Justificación Social y de Responsabilidad Corporativa	33
1.5 Alcance y Delimitación del Proyecto	34
II. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL.....	36
2.1 Antecedentes	37

2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	37
2.1.2	Antecedentes Nacionales	39
2.2	Bases o Fundamentación Teórica	41
2.2.1	Seguridad Industrial.....	41
2.2.2	Definición y Caracterización de los Espacios Confinados	41
2.2.3	Tipos de Espacios Confinados en la Planta de Tropigas de Panamá.....	42
2.2.4	Gas Licuado de Petróleo: Definición, Origen y Propiedades Fisicoquímicas	45
2.2.5	Riesgos en los Espacios Confinados de la Planta de Tropigas de Panamá.....	48
2.2.6	Marco Normativo Aplicable a la Planta de Tropigas de Panamá	51
2.2.7	Procedimientos de Trabajo Seguro en Espacios Confinados.....	54
2.2.8	Metodologías de Evaluación de Riesgos	58
2.2.9	Jerarquía de Controles de Riesgo.....	59
2.2.10	Equipos de Protección Personal en Espacios Confinados de GLP	61
2.3	Definición de Términos	63
2.4	Sistema de Variables.....	66
2.4.1	Variable Independiente	66
2.4.2	Variable Dependiente.....	67
2.4.3	Variable Mediadora	67
2.5	Operacionalización de las Variables.....	67
III.	MARCO METODOLÓGICO.....	70
3.1	Tipo de Investigación.....	71
3.1.1	Según el Propósito: Investigación Aplicada	71
3.1.2	Según el Nivel de Profundidad: Investigación Descriptiva	72
3.1.3	Según la Manipulación de las Variables: No Experimental	72
3.1.4	Según la Inferencia: Método Inductivo-Deductivo.....	73
3.1.5	Según el Tipo de Datos: Investigación Cuantitativa.....	74
3.1.6	Según la Temporalidad: Investigación Transversal	74
3.2	Hipótesis	75
3.3	Paradigma de la Investigación	76
3.4	Diseño de la Investigación	77
3.5	Población y Muestra	79

3.5.1 Población.....	80
3.5.2 Muestra	81
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	81
3.6.1 Observación Directa Estructurada	82
3.6.2 Medición Instrumental de Condiciones Atmosféricas	82
3.6.3 Lista de Verificación (Checklist) de Cumplimiento Normativo	83
3.6.4 Entrevista Semiestructurada.....	84
3.6.5 Revisión Documental.....	85
3.7 Procedimientos de la Investigación	88
3.8 Validez de los Instrumentos.....	88
3.8.1 Validez de Contenido: Juicio de Expertos	88
3.9 Confiabilidad del Instrumento	89
3.9.1 Confiabilidad de los Instrumentos de Observación y Medición	90
3.9.2 Confiabilidad del Instrumento de Entrevista: Coeficiente Alfa de Cronbach	90
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	93
4.1 Resultado 1: Inventario y Caracterización de Espacios Confinados	94
4.2 Resultado 2: Medición de Condiciones Atmosféricas	96
4.3 Resultado 3: Evaluación Cuantitativa de Riesgos	99
4.3.1 Evaluación mediante la Matriz IPER.....	99
4.3.2 Evaluación mediante el Método William T. Fine	101
4.4 Resultado 4: Diagnóstico de Cumplimiento Normativo	103
4.5 Resultado 5: Propuesta de Medidas de Control y Prevención	106
V. ANÁLISIS DE LOS DATOS E INFORMACIÓN.....	109
5.1 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	110
5.1.1 Estadística Descriptiva.....	110
5.1.2 Análisis de Frecuencias y Porcentajes	110
5.1.3 Evaluación Cuantitativa Multicriterio.....	110
5.2 Análisis e Interpretación de los Resultados por Objetivo	111
5.2.1 Análisis del Objetivo Específico 1: Identificación y Caracterización	111
5.2.2 Análisis del Objetivo Específico 2: Condiciones Atmosféricas	112
5.2.3 Análisis del Objetivo Específico 3: Evaluación de Riesgos	112

5.2.4 Análisis del Objetivo Específico 4: Cumplimiento Normativo	113
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Páginas

Tabla 1. Inventario Preliminar de Espacios Confinados en la Planta de Tropigas de Panamá y su Clasificación de Riesgo.....	62
Tabla 2. Operacionalización de Variables – Investigación en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá.....	68
Tabla 3. Comparativo del Marco Normativo Aplicable a los Espacios Confinados de la Planta de Tropigas de Panamá.....	69
Tabla 4. Resumen de Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos – Investigación en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá.....	84
Tabla 5. Escala de Interpretación del Coeficiente Alfa de Cronbach para la Confiabilidad del Instrumento de Investigación.....	91
Tabla 6. Inventario y Caracterización de los Espacios Confinados Identificados en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá.....	94
Tabla 7. Resultados de Medición Atmosférica en los Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá	97
Tabla 8. Evaluación de Riesgos mediante la Matriz IPER – Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá.....	100
Tabla 9. Evaluación de Riesgos Críticos mediante el Método William T. Fine – Espacios Confinados Clase A de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá.....	102
Tabla 10. Resultados del Diagnóstico de Cumplimiento Normativo en Materia de Espacios Confinados – Planta de GLP de Tropigas de Panamá	104

Tabla 11. Propuesta de Medidas de Control para los Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá – Organizadas por Jerarquía de Controles y Prioridad de Implementación	106
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Estructura corporativa del Grupo TRENCO y posición de Tropigas de Panamá como empresa operadora de plantas de envasado GLP	25
Figura 2. Corte transversal de un tanque de almacenamiento de GLP con indicación de escotilla de acceso (manhole), puntos de medición atmosférica a tres alturas y sistema de conexión a tierra electrostática	48
Figura 3. Diagrama esquemático de rangos de inflamabilidad del GLP – Zonas de atmósfera inerte, deficiente, inflamable y rica; con indicación de los umbrales críticos para la seguridad en espacios confinados	51
Figura 4. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) de los factores de riesgo en espacios confinados de plantas de GLP	55
Figura 5. Modelo de Permiso de Entrada a Espacios Confinados recomendado para la planta de Tropigas de Panamá – Adaptado a los requisitos del Decreto Ejecutivo N.º 2/2008, DGNTI-COPANIT 43-2011 y OSHA 29 CFR 1910.146	61
Figura 6. Pirámide de la jerarquía de controles de riesgo según NIOSH/ISO 45001 – Aplicación ilustrativa a los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá por nivel de efectividad	78
Figura 7. Diagrama de flujo del diseño metodológico de la investigación – Fases secuenciales desde la revisión documental hasta la propuesta de medidas de control	78
Figura 8. Fórmula del Coeficiente Alfa de Cronbach – $\alpha = (k / k-1) \times [1 - (\sum \sigma_i^2 / \sigma_t^2)]$	91

Figura 9. Plano esquemático de la planta de GLP de Tropigas de Panamá con la ubicación y codificación de los 12 espacios confinados identificados (EC-01 a EC-12)	94
Figura 10. Gráfico de barras comparativo de los valores máximos de %LEL medidos por espacio confinado (EC-01 a EC-12) versus el límite de acción del 10 % LEL establecido por la OSHA 99	
Figura 11. Gráfico de barras del Grado de Peligrosidad (GP) calculado mediante el Método Fine para los seis riesgos críticos identificados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá	103
Figura 12. Gráfico de radar del porcentaje de cumplimiento normativo por área temática en la planta de GLP de Tropigas de Panamá – Las 12 dimensiones evaluadas sobre una escala de 0 % a 100 %	105



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN SEGURIDAD Y
SALUD OCUPACIONAL

ANÁLISIS DE LOS ESPACIOS CONFINADOS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS
EN UNA PLANTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Autor: Rufino Daniel Varela Martínez

Tutor: Prof. Michael Castillo

Año: 2026

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito analizar los espacios confinados y evaluar los riesgos asociados a las actividades de mantenimiento e inspección realizadas en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá, S.A., empresa líder del sector energético panameño que opera cinco plantas de envasado y atiende más de 15,000 puntos de venta a nivel nacional. El fundamento teórico se sustentó en los aportes de Domínguez (2011), Toro et al. (2022) y la Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 1993), así como en el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL, el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146. La investigación fue de tipo aplicada, descriptiva, no experimental y transversal, con un enfoque predominantemente cuantitativo enmarcado en el paradigma positivista. Se siguió un diseño de campo en el que se emplearon cinco técnicas de recolección de datos: observación directa estructurada, medición instrumental de condiciones atmosféricas con detector multigás portátil (O_2 , %LEL, CO y H_2S), lista de verificación de cumplimiento normativo, entrevista semiestructurada a informantes clave y revisión documental. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, análisis de frecuencias y porcentajes, la Matriz IPER y el Método William T. Fine. Los principales resultados revelaron la existencia de 12 espacios confinados en la planta, de los cuales 10 son Espacios Confinados con Permiso Requerido (PRCS) y 7 corresponden a la Clase A de la NIOSH; se detectaron atmósferas peligrosas con %LEL de hasta 18 % y O_2 de hasta 19.2 % en los fosos de bombas; el Grado de Peligrosidad calculado mediante el Método Fine alcanzó un valor máximo de 3,600 para el riesgo de explosión en estos espacios; y el nivel de cumplimiento normativo global fue del 43 %, con ausencia total del programa de permisos de entrada.

Palabras clave: espacios confinados, gas licuado de petróleo, evaluación de riesgos, seguridad industrial, Tropigas de Panamá, atmósfera peligrosa, permiso de entrada.

Línea de investigación: Seguridad y Salud Ocupacional en el Sector Industrial.



**INTERNATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY
BACHELOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL ENGINEERING WITH EMPHASIS IN
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH**

**ANALYSIS OF CONFINED SPACES AND RISK ASSESSMENT
IN A LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) PLANT**

Author: Rufino Daniel Varela Martínez

Advisor: Prof. Michael Castillo

Year: 2026

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the confined spaces and assess the risks associated with maintenance and inspection activities carried out at the Liquefied Petroleum Gas (LPG) plant of Tropigas de Panamá, S.A., the leading company in Panama's energy sector, which operates five filling plants and serves more than 15,000 sales points nationwide. The theoretical framework was grounded in the contributions of Domínguez (2011), Toro et al. (2022), and the Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 1993), as well as Executive Decree No. 2 of 2008 issued by MITRADEL, the DGNTI-COPANIT 43-2011 Technical Regulation, and OSHA Standard 29 CFR 1910.146. The study was applied, descriptive, non-experimental, and cross-sectional in nature, with a predominantly quantitative approach grounded in the positivist paradigm. A field research design was employed using five data collection techniques: structured direct observation, instrumental measurement of atmospheric conditions with a portable multi-gas detector (O₂, %LEL, CO, and H₂S), a regulatory compliance checklist, semi-structured interviews with key informants, and documentary review. Data were processed using descriptive statistics, frequency and percentage analysis, the IPER Risk Matrix, and the William T. Fine Method. The main findings revealed the existence of 12 confined spaces in the plant, of which 10 are Permit-Required Confined Spaces (PRCS) and 7 correspond to NIOSH Class A; hazardous atmospheres were detected with %LEL values as high as 18 % and O₂ levels as low as 19.2 % in the pump sumps; the Hazard Score calculated using the Fine Method reached a maximum value of 3,600 for the explosion risk in these spaces; and the overall regulatory compliance level was 43 %, with a complete absence of a formal confined space entry permit program.

Keywords: confined spaces, liquefied petroleum gas, risk assessment, industrial safety, Tropigas de Panamá, hazardous atmosphere, entry permit.

Research line: Occupational Safety and Health in the Industrial Sector.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado tiene como propósito principal analizar los espacios confinados y evaluar los riesgos asociados a las actividades de mantenimiento e inspección realizadas en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá, S.A., empresa 100 % panameña que forma parte del Grupo TRENCO, con más de 70 años de trayectoria en el sector energético nacional y operadora de cinco plantas de envasado que atienden más de 15,000 puntos de venta en todo el territorio de la República de Panamá. La relevancia de este estudio reside en el alto potencial de peligro que representan los espacios confinados en instalaciones de manejo de hidrocarburos inflamables como el GLP, donde la acumulación de vapores explosivos más densos que el aire, la posible deficiencia de oxígeno y los riesgos físico-mecánicos pueden derivar en accidentes de consecuencias graves o fatales para los trabajadores que realizan tareas de mantenimiento, inspección o reparación en el interior de tanques de almacenamiento, fosos de bombas, cámaras de válvulas y tuberías de gran diámetro.

La investigación se inscribe en el paradigma positivista o cuantitativo, en el cual la realidad es objetiva, observable y medible mediante instrumentos estandarizados que producen resultados verificables y reproducibles. Este paradigma es el más ampliamente adoptado en el campo de la ingeniería de seguridad industrial y la evaluación de riesgos laborales a nivel internacional, y es el que mejor se ajusta a la naturaleza del problema estudiado, dado que las condiciones atmosféricas de los espacios confinados y los niveles de riesgo asociados son magnitudes físicas cuantificables de manera directa mediante instrumentos de medición calibrados. Desde el punto de vista del tipo de investigación, el estudio es aplicado, descriptivo, no experimental y transversal, características

que en conjunto permiten obtener un diagnóstico preciso del estado de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá en el momento de la inspección de campo, sin manipular las variables del entorno, con el fin de proponer medidas de control fundamentadas en la evidencia técnica recopilada.

El fundamento teórico de la investigación se sustenta en los aportes de Domínguez (2011), quien estableció que los riesgos químicos —en particular los vapores y gases inflamables— representan el 75 % de las causas raíz de los accidentes graves en espacios confinados de instalaciones petroquímicas; en los hallazgos de Toro et al. (2022), quienes documentaron la tendencia de los vapores de GLP a acumularse en zonas bajas como consecuencia de su mayor densidad respecto al aire; y en la norma OSHA 29 CFR 1910.146 (1993), el estándar de referencia mundial para la gestión de espacios confinados con permiso requerido, que establece el sistema de permisos de entrada, los roles operativos y los procedimientos de monitoreo atmosférico y rescate. Complementan este marco teórico el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral de Panamá (MITRADEL), el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011, la norma ANSI Z117.1, la NFPA 350 y la NFPA 58, cuyo conjunto configura el marco normativo nacional e internacional aplicable a la gestión de la seguridad en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá.

La técnica empleada para el diseño de la investigación es el estudio de campo, en el que la recolección de datos se realizó directamente en el entorno natural donde ocurre el fenómeno de interés: la planta de GLP de Tropigas de Panamá. Los instrumentos utilizados fueron cinco: (1) la Ficha de Inventario y Caracterización de Espacios Confinados, elaborada con base en los criterios del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 y la OSHA 29 CFR 1910.146; (2) el detector multigás portátil de cuatro gases simultáneos (O₂, %LEL, CO y H₂S) para la medición de condiciones atmosféricas;

(3) la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo basada en el Decreto Ejecutivo N.º 2/2008, el Reglamento COPANIT 43-2011 y la OSHA 29 CFR 1910.146; (4) el Guión de Entrevista Semiestructurada dirigida a los informantes clave de la planta; y (5) el Protocolo de Revisión Documental para el análisis de registros, procedimientos y planos disponibles en la instalación. Los datos cuantitativos obtenidos fueron procesados mediante estadística descriptiva, análisis de frecuencias y porcentajes, la Matriz IPER y el Método William T. Fine.

La investigación beneficia directamente a los trabajadores del área de mantenimiento y operaciones de la planta de GLP de Tropigas de Panamá, quienes están expuestos de manera regular a los riesgos de los espacios confinados en el desempeño de sus funciones. De manera indirecta, los resultados del estudio benefician también a la empresa Tropigas de Panamá, S.A. y al Grupo TRENCO en su conjunto, al proporcionarles un diagnóstico técnico fundamentado y una propuesta de medidas de control que les permitirán mejorar sus estándares de seguridad, reducir la probabilidad de accidentes y fortalecer su cumplimiento de la normativa nacional e internacional. A nivel más amplio, el estudio constituye un aporte metodológico original para el sector de hidrocarburos en la República de Panamá y para la comunidad académica de la Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Seguridad y Salud Ocupacional.

El trabajo de grado está estructurado en siete capítulos. El Capítulo I, Planteamiento o Enunciado del Problema, presenta los antecedentes de la empresa Tropigas de Panamá, la formulación del problema de investigación, los objetivos general y específicos, la justificación del estudio desde cuatro perspectivas —seguridad laboral, normativa, técnico-académica y responsabilidad social— y el alcance y las delimitaciones del proyecto. El Capítulo II, Marco Teórico o Referencial, desarrolla los antecedentes de investigación nacionales e internacionales, las bases teóricas en materia de seguridad industrial, espacios confinados, propiedades

fisicoquímicas del GLP, riesgos atmosféricos y físico-mecánicos, el marco normativo aplicable, los procedimientos de trabajo seguro, las metodologías de evaluación de riesgos y el sistema de variables con su operacionalización. El Capítulo III, Marco Metodológico, detalla el tipo y diseño de la investigación, la hipótesis de trabajo, el paradigma adoptado, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, los procedimientos seguidos y los criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

El Capítulo IV, Resultados de la Investigación, presenta los resultados obtenidos organizados en cinco apartados: el inventario y caracterización de los doce espacios confinados identificados, los resultados de la medición atmosférica en cada espacio (con detección de atmósferas peligrosas en cuatro de ellos), la evaluación cuantitativa de riesgos mediante la Matriz IPER y el Método Fine —que arrojó un Grado de Peligrosidad máximo de 3,600 para el riesgo de explosión en los fosos de bombas—, el diagnóstico de cumplimiento normativo que reveló un nivel global del 43 % con ausencia total del programa de permisos de entrada, y una propuesta de diez medidas de control priorizadas. El Capítulo V, Análisis de los Datos e Información, describe las técnicas estadísticas utilizadas y presenta la interpretación de los resultados en función de cada objetivo específico. El Capítulo VI, Conclusiones, presenta las conclusiones derivadas del alcance de cada objetivo de investigación y contrasta los resultados obtenidos con los hallazgos de las investigaciones previas citadas. Finalmente, el Capítulo VII, Recomendaciones, formula propuestas de acción concretas dirigidas a Tropigas de Panamá, al MITRADEL y a la comunidad académica, con indicación de plazos y prioridades de implementación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO O ENUNCIADO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes de la Empresa: Tropigas de Panamá

Tropigas de Panamá, S.A. es una empresa 100 % panameña con más de 70 años de trayectoria ininterrumpida en la comercialización, distribución y envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP). Sus orígenes se remontan al año 1950, cuando los emprendedores Antonio de Roux y Camilo Quelquejeu, dos jóvenes empresarios panameños, vislumbraron en el GLP una oportunidad de crecimiento social, económico y de desarrollo energético para la República de Panamá. En aquellos años, el GLP apenas comenzaba a penetrar el mercado doméstico latinoamericano como alternativa a la leña y al kerosene, y la visión de estos pioneros fue crucial para introducirlo en los hogares, comercios e industrias del país (Tropigas de Panamá, 2024).

En 1962, luego de más de una década de aprendizaje, inversión y consolidación en el mercado local, la compañía adoptó formalmente el nombre Tropigas de Panamá, convirtiéndose en una de las empresas líderes en la comercialización de cilindros de gas de 25 y 100 libras a nivel nacional. El crecimiento de la empresa fue tan notable que, en 1966, la multinacional estadounidense Tropical Gas Company Inc. adquirió una participación en Tropigas, pasando a ser importadora de gas GLP para el mercado panameño. Este vínculo con capital internacional le permitió a la empresa acceder a tecnología de vanguardia en el almacenamiento y distribución de GLP durante las décadas de 1970 y 1980 (Directorio de Recursos Humanos, Tropigas 2024).

Treinta años después de su fundación, y en el marco de la reforma a la Ley de Hidrocarburos que abrió el sector energético panameño a la competencia, Tropigas de Panamá encontró el escenario ideal para dar un salto estratégico: entre 1994 y 1995 logró crear Petroport, S.A., empresa especializada en la importación y almacenamiento de GLP a granel, y recompró simultáneamente las acciones que poseía Tropical Gas Co., consolidando así su capital 100 %

panameño. Este hito fue el punto de inflexión que desencadenó una historia de expansión sostenida y liderazgo energético en Panamá (Tropigas de Panamá, 2024).

Actualmente, Tropigas de Panamá forma parte del Grupo TRENCO (Tropical Energies Corporation), un conglomerado empresarial 100 % panameño con más de 70 años de trayectoria que agrupa empresas especializadas en la cadena completa de valor del GLP. El Grupo TRENCO está integrado por: Tropigas de Panamá, S.A. (envasado y distribución de GLP), Petroport, S.A. (importación y almacenamiento de GLP a granel en Colón), Tropigas de Chiriquí, S.A. (operaciones en la región occidental), Energía Natural, S.A. (generación eléctrica con sistemas híbridos), Tropigas Natural, S.A. (distribución de gas natural licuado), Industria Panameña de Cilindros, S.A. (fabricación y reparación de envases a presión), la división de transporte de cisternas, Bambito Agua de Manantial y la Fundación TRENCO, su brazo de responsabilidad social corporativa (TRENCO, 2024).

Esta integración vertical distingue al Grupo TRENCO en el sector energético regional, pues le permite controlar y optimizar toda la cadena logística del GLP: desde la importación del producto a granel en buques tanque especializados, hasta la entrega del cilindro lleno al consumidor final en cualquier punto del territorio nacional, incluyendo áreas de difícil acceso como las provincias de Chiriquí y Bocas del Toro. El control integral de la cadena de suministro también potencia la implementación de estándares de seguridad uniformes en todas las etapas del proceso, desde las terminales de importación hasta las plantas de envasado. Como se observa en la Figura 1, Tropigas de Panamá forma parte de la estructura corporativa del Grupo TRENCO, desempeñando un papel estratégico en las operaciones de envasado de GLP. (TRENCO, 2024).

Figura 1. Estructura corporativa del Grupo TRENCO y posición de Tropigas de Panamá como empresa operadora de plantas de envasado GLP.



Fuente: tomado de <https://fundaciontrenco.org/wp-content/uploads/2025/07/CODIGO-DE-GOBIERNO-CORPORATIVO-FUNDACION-TRENCO.pdf>

1.1.1 Operaciones de la Planta de Envasado de Tropigas de Panamá

Tropigas de Panamá posee y opera cinco (5) plantas de envasado de GLP distribuidas estratégicamente en el territorio nacional, entre ellas una planta en la provincia de Bocas del Toro en Changuinola, lo que evidencia su compromiso con el abastecimiento incluso en regiones apartadas. La empresa atiende más de 15,000 puntos de venta en todas las provincias de la República de Panamá (Tropigas, 2024).

Su filial Petroport, S.A. opera la terminal de importación y almacenamiento de GLP a granel en el litoral Atlántico, en la provincia de Colón. En 2023, la terminal incorporó una nueva esfera de almacenamiento que amplió su capacidad instalada, garantizando el suministro nacional de GLP. Petroport abastece aproximadamente el 60 % del mercado doméstico de GLP en Panamá,

siendo uno de los operadores logísticos de hidrocarburos más importantes de la región centroamericana (Petroport, citado en Tropigas, 2024).

Las plantas de envasado de Tropigas de Panamá comparten una estructura operativa que contempla las siguientes áreas y procesos principales:

- Área de recepción y descarga de GLP a granel: Zona de conexión para la descarga de camiones cisterna hacia los tanques de almacenamiento presurizado, equipada con brazos de descarga, válvulas de corte de emergencia, medidores de flujo másico y sistemas de recuperación de vapores.
- Tanques de almacenamiento presurizado: Recipientes cilíndricos horizontales o verticales fabricados en acero al carbono, diseñados para el almacenamiento del GLP en fase líquida a presión. Cada tanque cuenta con manómetros, termómetros, válvulas de alivio, indicadores de nivel y sistemas de rociado para enfriamiento de emergencia.
- Área de bombas de trasiego: Zona donde se ubican las bombas de transferencia del GLP líquido desde los tanques de almacenamiento hacia las líneas de llenado. Generalmente alojadas en fosos o plataformas de acceso limitado que constituyen espacios confinados de alta criticidad.
- Sala o plataforma de llenado de cilindros: Zona donde se realiza el envasado del GLP en cilindros de 25 y 100 libras mediante básculas electrónicas de alta precisión y llenadoras automáticas o semiautomáticas bajo estricto control de calidad de peso.
- Área de revisión e inspección de cilindros: Zona donde los cilindros son revisados para verificar integridad estructural, estado de válvulas, hermeticidad y vigencia de las pruebas hidrostáticas, antes y después del llenado.

- Patios de almacenamiento: Áreas para almacenamiento temporal de cilindros llenos en espera de distribución y cilindros vacíos en espera de ser envasados.
- Red de tuberías, válvulas y manifolds: Sistema de tuberías de acero de alta presión que interconecta todos los componentes del proceso, incluyendo válvulas de corte, reguladores de presión, filtros separadores y conexiones a tierra electrostática.
- Sistemas auxiliares: Generador eléctrico de emergencia, sistema contraincendios fijo (diluvio y espuma), taller de mantenimiento, laboratorio de control de calidad y oficinas administrativas.

Esta descripción operativa permite identificar, incluso antes de la inspección formal en campo, cuáles de estas áreas contienen espacios confinados potenciales o de permiso requerido, y cuáles representan los puntos de mayor concentración de riesgo para los trabajadores de Tropigas de Panamá que realizan tareas de mantenimiento, inspección o reparación.

1.1.2 Relevancia de la Empresa en el Sector Energético Nacional

La relevancia de Tropigas de Panamá en el sector energético nacional es de primer orden. El GLP es, para una gran proporción de los hogares panameños, el principal energético de uso doméstico para cocción de alimentos y calentamiento de agua. Su distribución ininterrumpida constituye en términos prácticos un servicio esencial para la población. En 2022, ante una disputa por el subsidio gubernamental al cilindro de 25 libras, la interrupción temporal de las operaciones de envasado de Tropigas generó una crisis de desabastecimiento resuelta de manera urgente por el Gobierno Nacional, evidenciando la posición estratégica de la empresa como proveedora de un bien de consumo básico para las familias panameñas (En Segundos Panamá, 2022).

Esta dimensión estratégica y social de las operaciones de Tropigas de Panamá refuerza la justificación de la presente investigación: cualquier accidente mayor en las instalaciones de envasado de la empresa —causado por la gestión deficiente de los riesgos en espacios confinados— tendría consecuencias que trascenderían el ámbito empresarial para afectar a la comunidad, al suministro energético nacional y al orden público. En consecuencia, la seguridad de sus trabajadores en los espacios confinados no es únicamente una obligación legal o una responsabilidad corporativa: es un imperativo de interés público.

1.2 Formulación del Problema

Las plantas de Gas Licuado de Petróleo (GLP) son instalaciones industriales cuya operación implica el manejo, almacenamiento, llenado y distribución de mezclas de hidrocarburos inflamables principalmente propano y butano en condiciones de alta presión. Por su naturaleza, estas instalaciones albergan una amplia variedad de espacios confinados, entendidos como aquellos recintos con aberturas limitadas de entrada y salida, ventilación natural desfavorable y potencial de acumulación de gases tóxicos o inflamables, que no están concebidos para la ocupación continuada por parte del trabajador (Decreto Ejecutivo N.º 2, 2008).

En el contexto específico de Tropigas de Panamá, las operaciones de mantenimiento, inspección y reparación que se llevan a cabo en los tanques de almacenamiento presurizado, los fosos de bombas, las cámaras de válvulas, los cárcamos de drenaje y las tuberías de gran diámetro implican necesariamente el ingreso de trabajadores a espacios confinados de alto riesgo. El Gas Licuado de Petróleo es altamente inflamable y forma mezclas explosivas con el aire en concentraciones de entre 2 % y 10 % en volumen. Sus vapores son más pesados que el aire, con una densidad relativa de aproximadamente 2.01, lo que provoca que se depositen y acumulen en

las zonas bajas de cualquier recinto con ventilación deficiente. En espacios confinados, los vapores de GLP pueden además desplazar al oxígeno y provocar asfixia en los trabajadores que ingresen sin las medidas de protección adecuadas (Crowcon, 2025).

Según la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), los accidentes en espacios confinados cobran en promedio 92 vidas por año en los Estados Unidos, y entre 2011 y 2018 la Oficina de Estadísticas Laborales (BLS) registró 1,030 muertes relacionadas con este tipo de espacios en la industria general. El 60 % de las fatalidades corresponde a personas que ingresaron sin preparación en un intento de rescatar a las víctimas iniciales (Humulo, 2026).

En el ámbito de las instalaciones petroleras, los riesgos químicos representan el 75 % de las causas raíz de los accidentes graves o fatales en espacios confinados, siendo los gases y vapores inflamables los agentes de mayor incidencia. A pesar de la existencia de programas de seguridad fundamentados en normativas internacionales como la OSHA 29 CFR 1910.146, los accidentes continúan produciéndose, en gran medida debido a análisis de riesgos incompletos o a una planificación insuficiente de las labores de mantenimiento e inspección (Domínguez, 2011).

En el contexto panameño, la regulación de los espacios confinados en el sector industrial está amparada por el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL y por el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011. Sin embargo, su aplicación en instalaciones de manejo de GLP como las de Tropigas de Panamá presenta brechas significativas en cuanto a la identificación formal de espacios confinados, la evaluación sistemática de atmósferas peligrosas y la implementación de permisos de trabajo documentados (SPRA-RESCUE, 2024).

Tropigas de Panamá opera cinco plantas de envasado que atienden más de 15,000 puntos de venta en todo el territorio nacional. Sus instalaciones incluyen tanques de almacenamiento presurizado, fosos de bombas, cámaras de válvulas subterráneas y redes de tuberías de alta presión, todos ellos entornos donde la probabilidad de encontrar atmósferas peligrosas durante labores de mantenimiento es significativamente elevada. La ausencia de un estudio técnico-sistemático que identifique, caracterice y evalúe los riesgos específicos de los espacios confinados en sus instalaciones representa una brecha que este proyecto de investigación busca subsanar.

Frente a esta realidad, surge la siguiente interrogante de investigación:

¿Cuáles son los riesgos presentes en los espacios confinados de la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá y qué medidas de control son necesarias para garantizar la seguridad de los trabajadores que realizan actividades en dichos espacios?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar los espacios confinados y evaluar los riesgos asociados a las actividades realizadas en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá, con el propósito de proponer medidas de control que contribuyan a la prevención de accidentes laborales y al cumplimiento de la normativa nacional e internacional de seguridad industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar y caracterizar todos los espacios confinados presentes en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, de acuerdo con los criterios establecidos en el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008, el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146.
2. Determinar las condiciones atmosféricas y los agentes de riesgo físico, químico y mecánico presentes en los espacios confinados identificados en la planta de Tropigas de Panamá, mediante la aplicación de instrumentos de medición y técnicas de inspección directa.
3. Evaluar el nivel de riesgo de cada espacio confinado identificado en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, utilizando metodologías reconocidas de evaluación de riesgos laborales, tales como la Matriz IPER y la metodología Fine.
4. Verificar el grado de cumplimiento de la normativa de seguridad vigente en materia de espacios confinados dentro de la planta de GLP de Tropigas de Panamá, mediante la aplicación de listas de verificación basadas en los estándares legales aplicables.
5. Proponer un conjunto de medidas preventivas y correctivas, incluyendo procedimientos de trabajo seguro, protocolos de ingreso con permiso de entrada, requisitos de equipos de protección personal y programas de capacitación, orientados a la gestión integral del riesgo en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá.

1.4 Justificación

La presente investigación se justifica desde cuatro perspectivas fundamentales: la seguridad y salud de los trabajadores de Tropigas de Panamá, el cumplimiento legal y normativo,

el aporte académico y técnico al campo de la seguridad industrial en Panamá, y la responsabilidad social corporativa de la empresa con el entorno en el que opera.

1.4.1 Justificación desde la Seguridad Laboral

Los espacios confinados constituyen uno de los entornos de trabajo de mayor peligrosidad en la industria. Los accidentes en estos espacios figuran como una de las primeras causas de accidentes de trabajo mortales, con una de las tasas de letalidad más altas de todos los riesgos laborales, y con frecuencia cobran no solo la vida del trabajador atrapado, sino también la de los compañeros que intentan rescatarlo sin la preparación adecuada (GSL Ocupacional, 2026). En el caso de las plantas de GLP como las de Tropigas de Panamá, esta situación se agrava porque la presencia permanente de vapores inflamables cuya densidad superior a la del aire favorece su acumulación en niveles bajos, incrementa exponencialmente el riesgo de explosión, incendio y asfixia en cualquier trabajo de mantenimiento o inspección que requiera el ingreso a tanques, tuberías, cámaras o fosos. Los trabajadores de las cinco plantas de envasado de Tropigas de Panamá que realizan tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, inspección interna de tanques, reparación de tuberías y revisión de equipos en fosos de bombas y cámaras de válvulas, están expuestos de manera regular a estos riesgos.

1.4.2 Justificación Normativa

El ordenamiento jurídico panameño establece obligaciones concretas para los empleadores en materia de seguridad e higiene laboral. El Código de Trabajo de la República de Panamá obliga a todo empleador a aplicar las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y la salud de sus trabajadores. A nivel reglamentario, el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL y el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011 establecen disposiciones específicas en materia

de espacios confinados. El incumplimiento puede acarrear sanciones administrativas del MITRADEL, interrupciones de operaciones y, sobre todo, consecuencias humanas irreversibles. Esta investigación identificará las brechas de cumplimiento en la planta de Tropigas de Panamá y propondrá el camino hacia la conformidad normativa.

1.4.3 Justificación Técnica y Académica

Desde el punto de vista técnico y académico, la investigación representa una contribución significativa al campo de la seguridad industrial aplicada a la industria de los hidrocarburos en Panamá. La escasa disponibilidad de estudios locales sobre la gestión de riesgos en espacios confinados de plantas de GLP hace que este trabajo constituya un aporte original que podrá servir como referencia metodológica para futuras investigaciones y para otras empresas del sector energético panameño. La aplicación de la Matriz IPER y el Método William T. Fine demostrará la viabilidad de adaptar estos instrumentos al contexto normativo y operativo de Tropigas de Panamá.

1.4.4 Justificación Social y de Responsabilidad Corporativa

La prevención de accidentes en plantas de GLP trasciende el ámbito empresarial. Con más de 15,000 puntos de venta en todo el territorio nacional y una operación de importación que abastece el 60 % del mercado doméstico de GLP del país, Tropigas de Panamá tiene una responsabilidad adicional frente a las comunidades aledañas a sus instalaciones y frente a la continuidad del suministro de un bien esencial. Un evento mayor —explosión, incendio o nube de gas tóxico— no solo tendría consecuencias devastadoras para los trabajadores de la planta, sino también para las comunidades circundantes y para el abastecimiento de GLP a nivel nacional. En

este sentido, fortalecer la seguridad en los espacios confinados de Tropigas de Panamá es un asunto de interés público que justifica plenamente la realización de este estudio (TRENCO, 2024).

1.5 Alcance y Delimitación del Proyecto

El presente proyecto de investigación se circunscribe al análisis de los espacios confinados y la evaluación de los riesgos asociados a las actividades operativas y de mantenimiento realizadas en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá, S.A. Las delimitaciones son las siguientes:

Delimitación temática. La investigación abarca la identificación y caracterización de los espacios confinados de la planta, la evaluación de las condiciones atmosféricas y los riesgos físicos, químicos y mecánicos inherentes, la verificación del cumplimiento normativo y la formulación de medidas de control. No se contempla el análisis de riesgos del transporte o distribución del GLP fuera de la planta, ni las operaciones de la terminal Petroport en Colón.

Delimitación espacial. El estudio se desarrollará dentro de las instalaciones físicas de la planta de envasado de GLP de Tropigas de Panamá seleccionada, incluyendo todas las áreas donde se hayan identificado espacios confinados: tanques de almacenamiento, fosos de bombas, cámaras de válvulas, tuberías de gran diámetro, colectores de condensados y zanjas con profundidad igual o superior a 1.2 metros.

Delimitación temporal. La investigación se llevará a cabo durante el ciclo lectivo 2026, con una duración estimada de seis meses para la recolección de datos, el análisis de resultados y la elaboración del informe final.

Delimitación normativa. El marco de referencia incluye el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL, el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011, la norma OSHA 29 CFR 1910.146, la norma ANSI Z117.1 y la norma NFPA 350.

Delimitación académica. Este trabajo de grado es desarrollado por el estudiante Rufino Daniel Varela Martínez, de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Seguridad y Salud Ocupacional de la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT), bajo la tutoría del profesor Michael Castillo. Los resultados son de carácter académico y no constituyen una auditoría oficial ni vinculan legalmente a Tropigas de Panamá, S.A.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

El estudio de los espacios confinados y los riesgos asociados al manejo de hidrocarburos, incluido el Gas Licuado de Petróleo (GLP), tiene una larga trayectoria en la literatura técnica y científica internacional. A continuación se presentan los antecedentes más relevantes que han servido de base para el desarrollo de la presente investigación, destacando aquellos vinculados al sector GLP y a la empresa Tropigas de Panamá.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Domínguez (2011), en su trabajo titulado "Análisis de Riesgos en Espacios Confinados en Refinerías de Petróleo", presentado en la Conferencia ORP 2011, analizó la problemática de los accidentes en espacios confinados dentro de instalaciones petroquímicas. Señaló que, a pesar de la existencia de programas de seguridad y normativas como la OSHA 29 CFR 1910.146, los accidentes continuaban ocurriendo debido a análisis de riesgos incompletos. Concluyó que los riesgos químicos —especialmente los vapores y gases inflamables— representan el 75 % de las causas raíz de los accidentes graves o fatales en estos espacios, y propuso un modelo de análisis específico para espacios confinados que va más allá del Análisis de Trabajo Seguro (ATS), constituyéndose en un archivo técnico vivo de cada espacio. Este trabajo es referente directo de la presente investigación dado que establece la metodología de análisis de riesgos aplicable a entornos de manejo de hidrocarburos como la planta de Tropigas de Panamá.

Toro et al. (2022), en el artículo científico "Riesgo por fugas accidentales de gas licuado de petróleo hacia trabajadores y comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén (Chile)", publicado en la Revista de Salud Pública, evaluaron cualitativa y cuantitativamente los riesgos tecnológicos derivados de fugas accidentales de GLP en

instalaciones de almacenamiento. Los investigadores aplicaron la metodología NTP 937 del INSST y el software Slab View para modelar el comportamiento espacial y temporal de las fugas. Sus resultados revelaron que las fugas de GLP desde tanques de almacenamiento presentan riesgos significativos de inhalación y explosión tanto para los trabajadores como para las comunidades circundantes, y que la mayor densidad del GLP respecto al aire es un factor determinante en la acumulación de vapores en zonas bajas, tal como ocurre en los espacios confinados de las plantas de procesamiento. Este antecedente es directamente extrapolable a la planta de Tropigas de Panamá, que opera instalaciones de almacenamiento y envasado de GLP con tanques presurizados y fosos de bombas de características similares.

La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) promulgó en 1993 la norma 29 CFR 1910.146 "Permit-Required Confined Spaces", vigente desde abril del mismo año. Esta normativa nació de la evidencia estadística que demostraba que, cuando ocurrían muertes múltiples en espacios confinados, la mayoría de las víctimas fallecían intentando rescatar al trabajador original: más del 60 % de las fatalidades eran asociadas a intentos de rescate no planificados (OSHA, 1993). El estándar estableció un sistema de permisos de entrada, roles definidos — supervisor, vigilante y entrante autorizado— y requisitos de prueba atmosférica previa al ingreso. Esta norma es el marco de referencia global de mayor reconocimiento para la gestión de espacios confinados y debe ser aplicada como guía técnica complementaria en la planta de Tropigas de Panamá.

Inspenet (2024) documentó un caso representativo ocurrido en julio de 2019 en una planta de tratamiento de aguas residuales en Ohio, Estados Unidos, en el que dos trabajadores fallecieron al ingresar a un tanque de almacenamiento sin verificar previamente la atmósfera interior. El tanque contenía niveles peligrosos de sulfuro de hidrógeno (H_2S), y el segundo trabajador ingresó

sin equipos de protección al intentar rescatar al primero, reproduciendo el patrón de fatalidades en cascada descrito por la OSHA. El análisis identificó tres causas raíz: ausencia de evaluación atmosférica previa, falta de equipo de detección de gases y capacitación insuficiente. Este caso ilustra con exactitud los patrones de accidentabilidad que la presente investigación busca prevenir en Tropigas de Panamá. A nivel de Latinoamérica, los accidentes en espacios confinados continúan apareciendo con frecuencia preocupante en registros de autoridades laborales, siendo la falta de entrenamiento en rescate y la ausencia de protocolos documentados los denominadores comunes (Minería en Línea, 2026).

En el ámbito específico de la industria del GLP, la Asociación Internacional del Gas LP (AIGLP, 2023) ha documentado que la seguridad en las unidades de llenado de cilindros es uno de los pilares fundamentales del sector. Las medidas de seguridad internacionalmente recomendadas para plantas de envasado de GLP incluyen sistemas de enfriamiento fijo para tanques, registros de cierre de flujo con control remoto para emergencias en plataformas de llenado, ventilación natural adecuada en zonas de envasado y sistemas fijos de enfriamiento con válvulas de activación remota para las áreas de carga de camiones cisterna. Estas medidas deben complementarse con una gestión rigurosa de los espacios confinados —aspecto que la normativa sectorial del GLP frecuentemente trata de manera insuficiente—, lo que justifica estudios específicos como el presente (AIGLP, 2023).

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional panameño, la regulación de la seguridad en espacios confinados ha evolucionado gradualmente. El Decreto Ejecutivo N.º 2 del 15 de febrero de 2008 del MITRADEL formalizó la definición de espacio confinado y estableció los procedimientos mínimos de

seguridad, los cuales han sido adoptados como referencia normativa en la industria general ante la ausencia de una regulación sectorial más específica. El Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011 complementó el marco normativo al introducir categorías más detalladas de peligrosidad y requisitos técnicos para el programa de permisos de entrada (MITRADEL, 2008; DGNTI-COPANIT, 2011).

En el sector energético panameño, Tropigas de Panamá es la empresa líder. A través de su filial Petroport, el Grupo TRENCO abastece el 60 % del mercado doméstico nacional de GLP. Sus cinco plantas de envasado operan tanques de almacenamiento presurizado, cámaras de válvulas, zanjas de tuberías y fosos de drenaje que constituyen espacios confinados de alto riesgo. En el año 2023, la Memoria del Grupo TRENCO destacó que la operación de Petroport se realizó con cero accidentes y los más altos estándares de seguridad y eficacia, y que la nueva esfera incorporada aumentó la capacidad de almacenamiento de la terminal de importación (TRENCO, 2023). Aunque este resultado refleja el compromiso de la empresa con la seguridad, la ausencia de estudios académicos publicados que documenten de manera sistemática los riesgos específicos de los espacios confinados en las plantas de envasado de Tropigas de Panamá confirma la originalidad y la necesidad de la presente investigación.

Organizaciones especializadas como SPRA-RESCUE S.A. e ITS Panamá han identificado que la aplicación efectiva de las normativas de espacios confinados en el sector industrial panameño presenta importantes brechas, particularmente en lo relativo a la elaboración formal de inventarios de espacios confinados, la medición de atmósferas peligrosas y el establecimiento de programas de permisos de entrada documentados. Esta situación es especialmente crítica en el sector de los hidrocarburos, donde las consecuencias potenciales de un incidente son de mayor gravedad que en otros sectores industriales (SPRA-RESCUE, 2024).

2.2 Bases o Fundamentación Teórica

2.2.1 Seguridad Industrial

La seguridad industrial es una disciplina técnica que comprende el conjunto de conocimientos, normas, métodos y técnicas orientados a la identificación, evaluación y control de los riesgos capaces de producir accidentes de trabajo en los entornos industriales. Su objetivo fundamental es proteger la integridad física y la salud de los trabajadores, así como preservar los bienes materiales y el ambiente del impacto negativo de los accidentes. La seguridad industrial trasciende la mera aplicación de normas de cumplimiento; se fundamenta en la construcción de una cultura organizacional donde la prevención sea un valor inherente a todas las actividades productivas (Ecopational, 2024).

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), los accidentes laborales y las enfermedades profesionales representan una pérdida anual equivalente al 4 % del Producto Interno Bruto mundial, lo que equivale a unos 2.99 billones de dólares, sin contar el costo humano incalculable representado por el sufrimiento de los trabajadores y sus familias. En este contexto, la seguridad industrial en las plantas de GLP como las que opera Tropigas de Panamá adquiere especial importancia dado que las consecuencias de un accidente en estas instalaciones — explosión, incendio, nube de gas tóxico— pueden trascender el ámbito empresarial y convertirse en desastres industriales mayores con impacto comunitario y ambiental.

2.2.2 Definición y Caracterización de los Espacios Confinados

Un espacio confinado es cualquier recinto con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o inflamables o existir una atmósfera deficiente en oxígeno, y que no está concebido para ser

ocupado de forma continua por trabajadores (Decreto Ejecutivo N.º 2, 2008; Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011). Esta definición establece tres características esenciales que deben coexistir: (a) tamaño suficiente para que una persona pueda entrar físicamente y realizar un trabajo; (b) medios de entrada y salida restringidos o limitados, lo que hace difícil el escape en situaciones de emergencia; y (c) diseño no concebido para la ocupación continua.

La OSHA, a través de la norma 29 CFR 1910.146, amplió esta definición al establecer que un espacio confinado que requiere permiso de entrada (Permit-Required Confined Space o PRCS) es aquel que, además de reunir las características básicas, contiene o tiene el potencial de contener una atmósfera peligrosa; contiene material capaz de envolver y asfixiar a un entrante; tiene una configuración interna tal que un entrante puede quedar atrapado por paredes convergentes o piso con pendiente; o contiene cualquier otro riesgo serio reconocido para la seguridad o la salud (OSHA, 1993). Esta categoría es la más relevante para la planta de Tropigas de Panamá, dado que todas sus áreas de acceso restringido cumplen con al menos una de estas condiciones adicionales de peligrosidad.

Por su parte, la norma NIOSH clasifica los espacios confinados en tres categorías según su nivel de peligrosidad: Clase A, en los que existe un peligro inminente para la vida, generalmente por riesgos atmosféricos como gases tóxicos o deficiencia de oxígeno; Clase B, en los que existe peligro potencial capaz de causar lesiones o enfermedades controlables con equipos de protección personal adecuados; y Clase C, en los que las situaciones de peligro no requieren modificaciones a los procedimientos normales de trabajo. En la planta de Tropigas de Panamá, los tanques de almacenamiento presurizado y los fosos de bombas corresponden típicamente a la Clase A de la NIOSH.

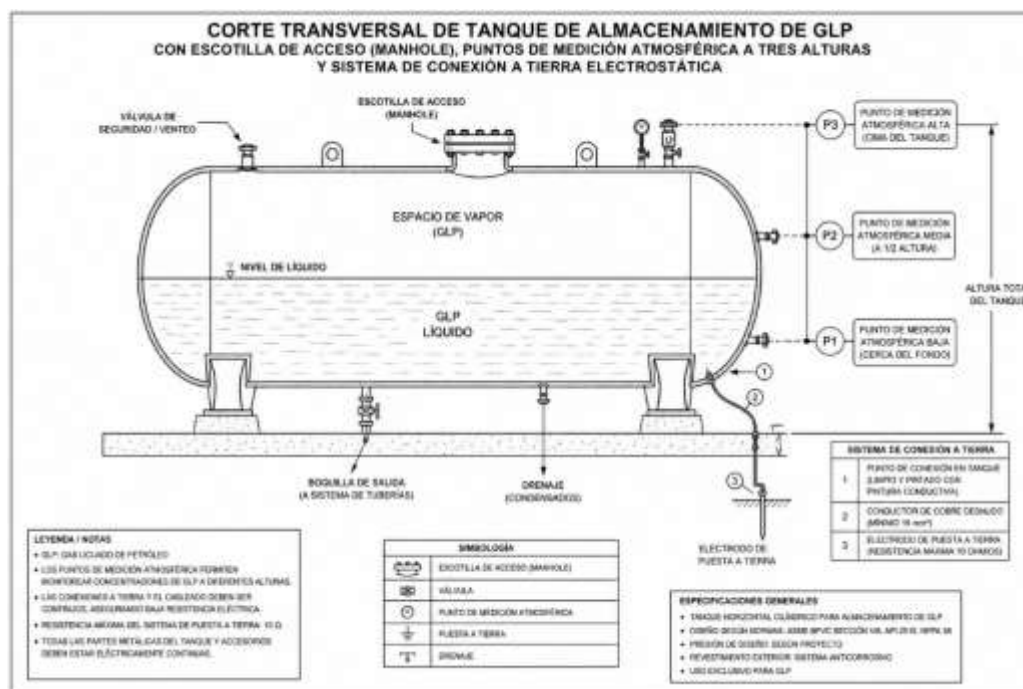
2.2.3 Tipos de Espacios Confinados en la Planta de Tropigas de Panamá

Las plantas de Gas Licuado de Petróleo como las que opera Tropigas de Panamá albergan una variedad significativa de estructuras que reúnen las características de espacios confinados. A continuación se describen los principales tipos:

a) Tanques de Almacenamiento Presurizado

Son recipientes cilíndricos horizontales o verticales fabricados en acero al carbono, diseñados para almacenar GLP en fase líquida bajo presión de vapor del propio producto. En la planta de Tropigas de Panamá, estos tanques son el elemento central del sistema de almacenamiento y los espacios confinados de mayor criticidad. El acceso al interior se realiza a través de escotillas (manholes) de dimensiones reducidas generalmente de 500 a 600 mm de diámetro ubicadas en la parte superior o lateral del recipiente. El residuo líquido que puede quedar en el interior tras su vaciado se vaporiza al despresurizar el recipiente, generando concentraciones de hidrocarburos muy por encima del Límite Superior de Inflamabilidad (LSI). Adicionalmente, el proceso de inertización con nitrógeno previo a la apertura del manhole para inspección interna crea intencionalmente una atmósfera totalmente deficiente en oxígeno que requiere el uso mandatorio de equipos de respiración autónoma (SCBA) Como se aprecia en la Figura 2, la configuración interna del tanque permite identificar los principales elementos considerados durante la evaluación de seguridad del espacio confinado. (OSHA, 1993).

Figura 2. Corte transversal de un tanque de almacenamiento de GLP con indicación de escotilla de acceso (manhole), puntos de medición atmosférica a tres alturas y sistema de conexión a tierra electrostática.



Fuente: https://www.gacetaoficial.gob.pa/storage/gacetar/2022/12/29689_A/95644.pdf

b) Fosos y Cárcamos de Bombas

Son excavaciones subterráneas o semisuperficiales donde se alojan las bombas de trasiego del GLP líquido desde los tanques de almacenamiento hacia las líneas de llenado. Dado que los vapores de GLP son más pesados que el aire, cualquier fuga en la zona de bombas, sellos mecánicos, bridas o conexiones tiende a acumularse en los fosos, creando atmósferas explosivas o deficientes en oxígeno. En la planta de Tropigas de Panamá, los fosos de bombas constituyen puntos críticos que requieren monitoreo atmosférico continuo y representan los espacios confinados de mayor frecuencia de acceso para labores de mantenimiento rutinario del personal técnico.

c) Cámaras y Pozos de Válvulas

Son espacios subterráneos que alojan válvulas de corte manual y automáticas, reguladores de presión y equipos de control de flujo de la red de distribución de GLP interna de la planta. Por su ubicación bajo el nivel del suelo y su acceso restringido a través de tapas de registro, son particularmente vulnerables a la acumulación de vapores de GLP provenientes de fugas en válvulas, bridas o juntas de dilatación.

d) Tuberías de Gran Diámetro y Colectores

Las tuberías de diámetro nominal superior a 24 pulgadas (600 mm) y los colectores de condensados pueden ser accedidos por personas para labores de inspección interna, limpieza de residuos de GLP y reparación de recubrimientos interiores anticorrosivos, constituyendo espacios confinados con riesgos de acumulación de residuos líquidos de hidrocarburos.

e) Zanjas y Excavaciones

Las zanjas con profundidad superior a 1.2 metros utilizadas para el tendido y mantenimiento de tuberías de GLP también constituyen espacios confinados, especialmente cuando discurren bajo la plataforma de la planta o en zonas donde existen redes de drenaje que podrían contener residuos de GLP líquido.

2.2.4 Gas Licuado de Petróleo: Definición, Origen y Propiedades Fisicoquímicas

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es la denominación genérica aplicada a las mezclas de hidrocarburos ligeros principalmente propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}) que se encuentran en estado gaseoso a temperatura y presión atmosféricas normales, pero que pueden licuarse a presiones relativamente bajas o a temperaturas suficientemente bajas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], s.f.).

En términos de composición, el GLP comercial no es un compuesto puro sino una mezcla. El propano comercial contiene aproximadamente un 20 % de butano, mientras que el butano comercial puede contener alrededor de un 20 % de propano, porcentajes que varían según las condiciones climáticas del mercado y las especificaciones del proveedor. Ambos componentes son productos secundarios del refinado del petróleo y de la extracción del gas natural (Iberdrola, 2024). El GLP importado por Petroport para las plantas de Tropigas de Panamá es obtenido de fuentes de producción internacional y debe cumplir con las especificaciones de composición y calidad establecidas por las autoridades energéticas panameñas.

La propiedad físicoquímica más relevante desde el punto de vista de la seguridad industrial en espacios confinados es la densidad relativa respecto al aire: el propano presenta una densidad de 1.55 y el butano de 2.07, ambas superiores a 1.0, lo que significa que los vapores de GLP son más pesados que el aire y descienden para acumularse en los puntos más bajos del entorno, incluyendo los espacios confinados, las zanjas de tuberías, los fosos de bombas y los cárcamos de drenaje de la planta de Tropigas de Panamá (Buenaventura, 2022). Esta propiedad convierte a cualquier espacio bajo el nivel del suelo en un espacio de riesgo potencialmente alto dentro de una instalación de GLP.

Los límites de inflamabilidad del GLP determinan el rango de concentración dentro del cual la mezcla con el aire es explosiva: el Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) del propano es 2.1 % en volumen y el del butano es 1.6 %, mientras que el Límite Superior de Inflamabilidad (LSI) es de 9.5 % para el propano y 8.5 % para el butano (NTP 321.007). Dentro de este rango, cualquier fuente de ignición puede desencadenar una deflagración o explosión. La OSHA establece que se considera peligrosa cualquier atmósfera con concentraciones superiores al 10 % del LII, dada la posibilidad de variaciones que alcancen el rango explosivo.

El efecto asfixiante del GLP es otro riesgo crítico en espacios confinados: en concentraciones elevadas desplaza al oxígeno del aire y puede provocar anoxia. El descenso de la concentración de oxígeno por debajo del 19.5 % genera síntomas de hipoxia; por debajo del 16 % puede producir pérdida de consciencia; y por debajo del 6 %, la muerte sobreviene rápidamente. Adicionalmente, concentraciones superiores al 10 % de GLP en el ambiente pueden causar irregularidades cardíacas y efectos anestésicos leves antes de que la persona perciba el peligro mediante el olfato, ya que el GLP en su estado puro es inodoro y el mercaptano añadido como odorizante puede no ser perceptible a bajas concentraciones (Buenaventura, 2022).

El riesgo de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) es el peligro de mayor magnitud potencial asociado a los tanques de GLP de la planta de Tropigas de Panamá. El BLEVE ocurre cuando un recipiente que contiene GLP líquido se expone a calor externo —generalmente en un incendio— hasta que la presión interna supera la resistencia estructural del recipiente. La ruptura súbita libera el GLP en una expansión violenta de vapor que se inflama instantáneamente en una bola de fuego (fireball). El radio de peligro de un evento BLEVE puede extenderse hasta 800 metros para un derrame mayor de 208 litros (Limagas, 2022), lo que convierte a un accidente en la planta no solo en una emergencia para sus trabajadores sino en una amenaza para toda la comunidad circundante. Como se muestra en la Figura 3, los rangos de inflamabilidad del GLP permiten identificar las condiciones atmosféricas críticas para un ingreso seguro a espacios confinados.

Figura 3. Diagrama esquemático de rangos de inflamabilidad del GLP – Zonas de atmósfera inerte, deficiente, inflamable y rica; con indicación de los umbrales críticos para la seguridad en espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá.



Fuente: <https://ribuni.uni.edu.ni/1126/1/38070.pdf>

2.2.5 Riesgos en los Espacios Confinados de la Planta de Tropigas de Panamá

La naturaleza de los espacios confinados en instalaciones de GLP como las de Tropigas de Panamá determina la presencia simultánea de múltiples categorías de riesgo que, en muchos casos, se potencian mutuamente. Una característica fundamental de los accidentes en estos espacios es la gravedad de sus consecuencias, tanto para la persona que realiza el trabajo como para las personas que la auxilian de forma inmediata sin adoptar las medidas de seguridad necesarias (INSST, 1989). Los accidentes en espacios confinados son, junto con los trabajos en altura, los entornos laborales

más peligrosos que existen, con una de las tasas de letalidad más altas de todos los riesgos laborales (GSL Ocupacional, 2026).

a) Riesgos Atmosféricos

Son los más frecuentes y letales en los espacios confinados de plantas de GLP. La mayoría de los accidentes en estos espacios ocurren por la no identificación de las atmósferas peligrosas y las consecuencias de estos errores son siempre graves o fatales (Adegi, 2021). En el contexto de la planta de Tropigas de Panamá, los riesgos atmosféricos se clasifican en tres grandes categorías:

Atmósfera inflamable o explosiva: Se produce cuando la concentración de vapores de GLP en el interior del espacio confinado alcanza el rango de inflamabilidad (entre el LII y el LSI). En los tanques de almacenamiento y fosos de bombas de la planta de Tropigas de Panamá, la probabilidad de encontrar concentraciones dentro del rango inflamable durante tareas de mantenimiento es significativamente alta si no se aplican los procedimientos de ventilación y purga previos al ingreso.

Atmósfera deficiente en oxígeno: Se considera una atmósfera deficiente en oxígeno aquella cuyo contenido es inferior al 19.5 % en volumen (concentración normal del aire: 20.9 %). En los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá, la deficiencia de oxígeno puede ocurrir por desplazamiento por vapores de GLP, por inertización con nitrógeno durante la limpieza de tanques, o por oxidación de superficies metálicas internas. El proceso de inertización con nitrógeno previo a la apertura del manhole genera intencionalmente atmósferas sin oxígeno que requieren el uso mandatorio de SCBA.

Atmósfera tóxica: La combustión incompleta de GLP produce monóxido de carbono (CO), gas altamente tóxico con un Valor Límite Umbral (TLV-TWA) de apenas 25 ppm según la

ACGIH. Adicionalmente, en tanques que han almacenado mezclas de GLP con mercaptanos (odorisantes), pueden generarse atmósferas con sulfuro de hidrógeno (H_2S) al calentar o agitar los residuos. El H_2S tiene la característica de paralizar el sentido del olfato, por lo que se percibe como ausente aun cuando su concentración es letal.

b) Riesgos Físicos y Mecánicos

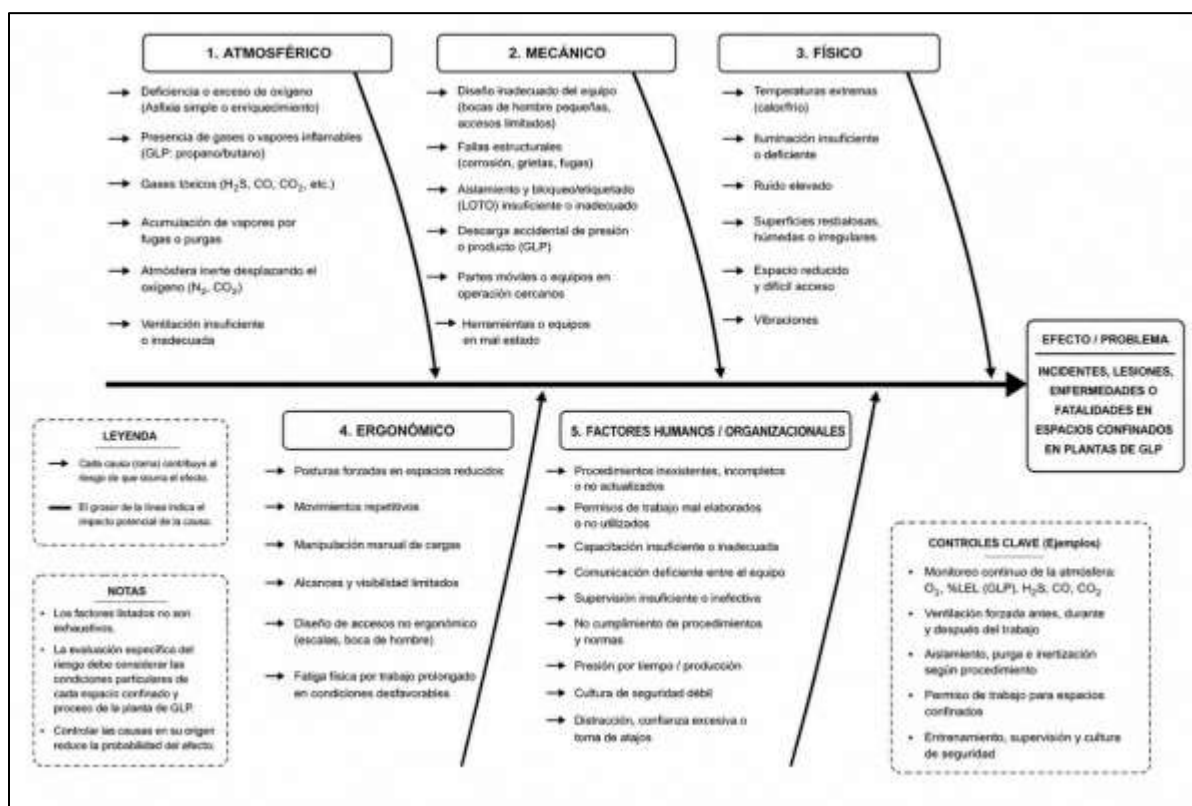
Los riesgos físicos en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá incluyen: riesgos mecánicos por equipos que pueden ponerse en marcha intempestivamente (bombas, agitadores, válvulas automáticas) si no se aplica correctamente el procedimiento LOTO previo al ingreso; riesgos de electrocución por contacto con partes metálicas bajo tensión eléctrica; riesgos de caída desde las escotillas de acceso ubicadas en la parte superior de los tanques; riesgos de atrapamiento por chapas deflectoras internas o geometrías irregulares de los recipientes; y riesgos de quemadura criogénica por contacto con superficies a temperaturas extremadamente bajas en caso de despresurización súbita de GLP líquido (INSST, 1989).

c) Riesgos Amplificados por el Confinamiento

El confinamiento tiene la propiedad de amplificar los riesgos preexistentes. El ruido generado por las herramientas eléctricas en el interior de un espacio confinado se amplifica significativamente por la reflexión en las paredes metálicas, superando con facilidad los 85 dB(A) que constituyen el límite de exposición diaria. La iluminación deficiente inherente a estos espacios aumenta la probabilidad de errores en la ejecución de tareas, y la estrechez del espacio obliga a adoptar posturas forzadas que incrementan los riesgos ergonómicos y dificultan la evacuación de emergencia (INSST, 1989). En el entorno de la planta de Tropigas de Panamá, el clima tropical — con temperaturas superiores a los 30 °C y humedad relativa elevada— constituye un factor

adicional de riesgo de estrés térmico para los trabajadores que realizan labores en el interior de los tanques de almacenamiento. Como se observa en la Figura 4, los factores de riesgo pueden agruparse según su naturaleza para facilitar su análisis y control.

Figura 4. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) de los factores de riesgo en espacios confinados de plantas de GLP – Clasificación por categorías: atmosférico, mecánico, físico, ergonómico y factores humanos/organizacionales.



Fuente: <https://capac.org/wp-content/uploads/2022/12/2.pdf-5.pdf>

2.2.6 Marco Normativo Aplicable a la Planta de Tropigas de Panamá

a) Normativa Nacional de Panamá

Código de Trabajo de la República de Panamá (Libro II, Título I): Establece la obligación general del empleador de aplicar las medidas necesarias para proteger eficazmente la

vida y la salud de sus trabajadores, garantizar su seguridad y cuidar de su salud, acondicionando locales y proveyendo equipos de trabajo para prevenir, reducir y eliminar los riesgos profesionales (Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral, 1995)

Decreto Ejecutivo N.º 2 del 15 de febrero de 2008 (MITRADEL): Define el espacio confinado, establece los requisitos mínimos para el trabajo en estos espacios e incluye obligaciones relativas a la capacitación, los permisos de trabajo y el monitoreo de atmósferas peligrosas. Aunque originalmente aplicable a la construcción, es el instrumento de mayor especificidad en materia de espacios confinados disponible en el ordenamiento panameño, y se utiliza como referencia normativa primaria en la industria en general, incluyendo el sector de hidrocarburos donde opera Tropigas de Panamá (MITRADEL, 2008).

Decreto de Gabinete N.º 68 del 31 de marzo de 1970: Centraliza en la Caja de Seguro Social (CSS) la cobertura obligatoria de los riesgos profesionales para todos los trabajadores del Estado y de las empresas particulares en la República de Panamá, estableciendo el sistema de compensación por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales y la obligación del empleador de reportar los accidentes de trabajo.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011: Establece los criterios técnicos para la identificación, clasificación y gestión de los espacios confinados en el contexto de la seguridad industrial panameña. Complementa el Decreto Ejecutivo N.º 2 al introducir categorías más detalladas de peligrosidad y requisitos técnicos para el programa de permisos de entrada, aplicables directamente a las operaciones de mantenimiento en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá (DGNTI-COPANIT, 2011).

b) Normativa Internacional de Referencia

OSHA 29 CFR 1910.146 – Permit-Required Confined Spaces (1993): Estándar de referencia mundial para la gestión de espacios confinados con permiso requerido en la industria. Establece los requisitos de programas de permisos de entrada, pruebas atmosféricas, roles y responsabilidades, procedimientos de rescate y capacitación del personal. Debe ser utilizado como complemento técnico de la normativa panameña, especialmente en aspectos donde la legislación nacional es menos específica (OSHA, 1993).

ANSI/ASSP Z117.1 – Safety Requirements for Confined Spaces: Define los requisitos de seguridad para el trabajo en espacios confinados, incluyendo la evaluación de peligros, la ventilación forzada, la supervisión continua y los sistemas de comunicación. Define con mayor detalle los procedimientos de rescate no tripulado aplicables a los espacios verticales de la planta de Tropigas de Panamá, como los manholes de los tanques de almacenamiento (SPRA-RESCUE, 2024).

NFPA 350 – Guide for Safe Confined Space Entry and Work: Guía de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios que aborda la entrada y el trabajo seguro en espacios confinados, con énfasis en instalaciones petroquímicas. Cubre la totalidad del ciclo de trabajo: planificación, ingreso, ejecución y rescate. Es la referencia técnica más pertinente para la gestión de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá (SPRA-RESCUE, 2024).

NFPA 58 – Liquefied Petroleum Gas Code: Código de referencia internacional para el almacenamiento, manejo y distribución de GLP. Establece los requisitos de diseño, instalación y operación de equipos y sistemas de GLP, incluyendo los tanques de almacenamiento presurizado.

Define las zonas de clasificación eléctrica para áreas peligrosas que deben respetarse al seleccionar equipos e iluminación para el trabajo en espacios confinados.

2.2.7 Procedimientos de Trabajo Seguro en Espacios Confinados

a) Permiso de Entrada

El permiso de entrada es el instrumento documentado fundamental para el control del acceso a los espacios confinados con permiso requerido. Según la OSHA 29 CFR 1910.146, el permiso debe incluir: la identificación del espacio confinado y el propósito del trabajo; la fecha y duración de validez del permiso (generalmente limitado a un turno laboral); los nombres de los trabajadores entrantes autorizados y del vigía; los riesgos conocidos y los métodos utilizados para aislar el espacio; los resultados de las pruebas atmosféricas realizadas antes del ingreso; los equipos de protección personal requeridos; los procedimientos de comunicación entre el vigía y los entrantes; y los planes de rescate y emergencia (OSHA, 1993). El permiso debe ser firmado por el supervisor de entrada antes de autorizar el acceso al espacio. En la planta de Tropigas de Panamá, el sistema de permisos de entrada debe ser parte integral del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SGSSO) de la empresa y todos los permisos deben ser archivados como registros de seguridad. Como se presenta en la Figura 5, el permiso de entrada integra los requisitos esenciales para autorizar el acceso seguro a espacios confinados.

Figura 5. Modelo de Permiso de Entrada a Espacios Confinados recomendado para la planta de Tropigás de Panamá – Adaptado a los requisitos del Decreto Ejecutivo N.º 2/2008, DGNTI-COPANIT 43-2011 y OSHA 29 CFR 1910.146.

[illegible]

Fuente: <https://www.tropigas.com.pa/sites/default/files/documents/REGLAMENTOGLP.pdf>

b) Roles y Responsabilidades

Supervisor de entrada: Es la persona encargada de garantizar que las actividades dentro del espacio confinado se desarrollen bajo condiciones seguras, asumiendo la máxima responsabilidad durante la ejecución de los trabajos. En la planta de Tropigas de Panamá, esta función debe ser desempeñada por el Jefe de Mantenimiento o el Responsable de Seguridad Industrial, quienes tienen la obligación de verificar que se hayan cumplido todos los requisitos establecidos en el permiso de trabajo antes de autorizar el ingreso del personal.

Vigía (Attendant): Persona que permanece en el exterior del espacio confinado durante todo el tiempo que existan trabajadores en su interior. Monitorea las condiciones atmosféricas, mantiene comunicación constante con los entrantes, controla el número de personas, y activa el plan de emergencia. La prohibición de que el vigía ingrese al espacio es absoluta, pues su función es garantizar que siempre exista una persona en el exterior capaz de activar los servicios de emergencia externos (ARL Sura, 2020).

Trabajador entrante (Authorized Entrant): Trabajador autorizado por escrito para ingresar y ejecutar las labores en el interior del espacio confinado. Debe cumplir con todos los requisitos del permiso de entrada, utilizar los equipos de protección personal especificados y comunicarse de manera continua con el vigía, saliendo del espacio cuando las condiciones cambien fuera de los parámetros seguros (OSHA, 1993).

c) Evaluación y Monitoreo Atmosférico

Antes de autorizar el ingreso a cualquier espacio confinado de la planta de Tropigas de Panamá, es obligatorio realizar pruebas atmosféricas con detectores de gases calibrados y certificados. El orden de medición recomendado por la OSHA es: (1) oxígeno (concentración

aceptable: 19.5 % – 23.5 %); (2) gases inflamables y explosivos (límite aceptable: < 10 % del LII); y (3) contaminantes tóxicos específicos. Las mediciones deben realizarse a diferentes alturas dentro del espacio, dado que los vapores de GLP se acumulan en las zonas bajas (OSHA, 1993; ARL Sura, 2020). En los tanques de la planta de Tropigas de Panamá se recomienda tomar mediciones en al menos tres niveles: zona superior (cerca del manhole de acceso), zona media y zona inferior (fondo del tanque).

d) Ventilación Forzada

Cuando las pruebas atmosféricas revelan condiciones peligrosas en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá, la ventilación forzada es la medida de control activo más importante. En el caso del GLP, dado que sus vapores son más pesados que el aire, la extracción debe realizarse desde los puntos más bajos del espacio confinado, mientras que el aire fresco se introduce desde la parte superior. Es fundamental que el equipo de ventilación sea clasificado como antiexplosivo (ATEX) para operar en zonas donde pueda existir o crearse una atmósfera inflamable. La ventilación forzada debe mantenerse de manera continua durante todo el tiempo que dure el trabajo en el interior del espacio, no solo como acondicionamiento previo al ingreso (ARL Sura, 2020).

e) Procedimiento LOTO (Lockout/Tagout)

Previo al ingreso a cualquier espacio confinado de la planta de Tropigas de Panamá que contenga equipos mecánicos o conexiones a procesos energizados —como los fosos de bombas, las cámaras de válvulas automáticas o las secciones de tuberías con válvulas de corte— es obligatorio aplicar el procedimiento LOTO. Este procedimiento garantiza el aislamiento total de todas las fuentes de energía: eléctrica (bombas, válvulas motorizadas, instrumentación), mecánica

(ejes rotativos), hidráulica (presión residual en tuberías de GLP) y química (bloqueo y purga de la tubería de GLP conectada al espacio). Cada fuente de energía debe ser bloqueada con un candado personal y etiquetada con la identificación del trabajador que realiza el trabajo, de modo que nadie pueda reactivar el sistema mientras haya trabajadores en el interior del espacio confinado.

2.2.8 Metodologías de Evaluación de Riesgos

a) Matriz IPER

La Matriz IPER (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos) es una herramienta de gestión estructurada que permite identificar los peligros existentes en un puesto de trabajo, evaluar la probabilidad y severidad de los riesgos asociados y priorizarlos para la implementación de controles. Constituye la herramienta principal exigida por sistemas de gestión como la ISO 45001 para la identificación sistemática de riesgos ocupacionales (ISO 45001, 2024). El procedimiento metodológico de la Matriz IPER comprende las siguientes etapas: (1) identificación de las actividades y tareas desarrolladas en cada puesto de trabajo; (2) identificación de los peligros potenciales asociados a cada tarea; (3) evaluación del riesgo mediante la combinación de la probabilidad de ocurrencia del evento peligroso y la severidad de las consecuencias potenciales; (4) determinación del nivel de riesgo resultante (trivial, tolerable, moderado, importante o intolerable); y (5) establecimiento de controles de acuerdo con la jerarquía de controles de riesgos (Datascope, 2025). En la presente investigación, la Matriz IPER será aplicada como herramienta principal para la evaluación de los riesgos identificados en cada espacio confinado de la planta de Tropigas de Panamá.

b) Método William T. Fine

El Método William T. Fine es una metodología de evaluación cuantitativa de riesgos laborales desarrollada en 1971 por William T. Fine del Naval Ordnance Laboratory de los Estados Unidos, bajo el título "Mathematical Evaluation for Controlling Hazards". El método tiene un doble propósito: cuantificar el nivel de riesgo presente en una situación dada y evaluar la justificación económica y técnica de las medidas correctoras propuestas para reducirlo (UNIR, 2024). El Método Fine calcula el Grado de Peligrosidad (GP) mediante la fórmula: $GP = C \times E \times P$, donde C es el factor de Consecuencia (escala 1-100), E es el factor de Exposición al riesgo (escala 0.5-10), y P es el factor de Probabilidad de ocurrencia del accidente (escala 0.1-10). El resultado del GP determina si el riesgo es aceptable, requiere atención, corrección urgente, corrección inmediata o detener la actividad. Complementariamente, el método calcula el Factor de Justificación (J) de las medidas correctoras, con un valor crítico $J = 10$ como umbral de justificación económica de la inversión en seguridad (INSST, 2000).

2.2.9 Jerarquía de Controles de Riesgo

La jerarquía de controles es un principio fundamental de la seguridad industrial que establece el orden de preferencia para la implementación de medidas de control de riesgos. Este orden, consagrado por el NIOSH y adoptado por la ISO 45001, prioriza las intervenciones desde la fuente del peligro hacia el individuo (Washington State Construction Center of Excellence, 2024). Los cinco niveles son:

1. Eliminación: Supresión física del peligro del entorno de trabajo. En los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá, implicaría eliminar la necesidad de entrada mediante el uso de tecnologías de inspección remota como drones internos, robots de inspección, cámaras de video de largo alcance o sistemas de ultrasonido de largo alcance (LRUT).

2. Sustitución: Reemplazar el agente o proceso peligroso por uno de menor riesgo. Por ejemplo, sustituir materiales de limpieza inflamables por agentes no inflamables en las operaciones de mantenimiento de tanques de GLP de Tropigas.
3. Controles de ingeniería: Soluciones técnicas que aislan a las personas del peligro. En espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá incluyen los sistemas de ventilación forzada antiexplosivos, los detectores de gas fijos con alarmas sonoras y visuales, los sistemas LOTO y los dispositivos de rescate con trípodes y malacates mecánicos instalados de manera permanente sobre los manholes de los tanques.
4. Controles administrativos: Políticas, procedimientos y prácticas de trabajo. Incluyen los programas de permiso de entrada, los procedimientos de trabajo seguro para espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá, la rotación de personal para reducir el tiempo de exposición al calor interior y los programas de capacitación y entrenamiento periódico con simulacros de rescate al menos una vez al año.
5. Equipo de Protección Personal (EPP): La última barrera de protección cuando las medidas anteriores son insuficientes. En espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá incluye SCBA de presión positiva, detectores de gas portátiles multigás (O₂, LEL, CO, H₂S), arneses de cuerpo completo con línea de vida, calzado antiestático, ropa antifiama (FR) y linterna antiexplosiva clasificada ATEX.

Como se ilustra en la Figura 6, la jerarquía de controles orienta la selección de las medidas preventivas según su nivel de efectividad.

Figura 6. Pirámide de la jerarquía de controles de riesgo según NIOSH/ISO 45001 – Aplicación ilustrativa a los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá por nivel de efectividad.



Fuente: <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-45001-Guia-de-implantacion.pdf>

2.2.10 Equipos de Protección Personal en Espacios Confinados de GLP

La selección de equipos de protección personal para el trabajo en los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá debe basarse en los resultados de la evaluación de riesgos y en la clasificación atmosférica del espacio. Para atmósferas clasificadas como IDLH (Inmediatamente Peligrosas para la Vida o la Salud), la OSHA exige el uso de equipos de respiración autónoma SCBA de presión positiva. Los respiradores de media máscara o completa con filtros para gases son aplicables únicamente cuando la concentración de oxígeno es adecuada ($\geq 19.5\%$) y la concentración del contaminante está dentro del rango de protección del cartucho

filtrante —condición que en los tanques de la planta de Tropigas de Panamá rara vez se cumple de manera confiable antes de la ventilación y purga completa del espacio—. Dado el riesgo de atmósferas inflamables, el calzado, la ropa y las herramientas deben ser antiestáticos, y la ropa de trabajo debe ser de materiales resistentes a la llama (FR) conforme a las normas NFPA 70E o NFPA 2112 (Cursosdeseguridadindustrial.com, 2025). Todo trabajador que ingrese a un espacio confinado vertical de la planta como los manholes de los tanques de almacenamiento o los pozos de válvulas debe portar un arnés de cuerpo completo conectado a un sistema de trípode y malacate instalado sobre el punto de acceso, para permitir su extracción sin necesidad de ingreso del vigía al espacio.

Tabla 1

Inventario Preliminar de Espacios Confinados en la Planta de Tropigas de Panamá y su Clasificación de Riesgo

Tipo de espacio confinado	Clase NIOSH	Requiere permiso PRCS	Principal riesgo atmosférico	Frecuencia de acceso estimada	Fase del proceso
Tanques de almacenamiento de GLP	Clase A	Sí	Atmósfera inflamable / Deficiencia de O ₂	Semestral / Anual	Almacenamiento
Fosos y cárcamos de bombas	Clase A	Sí	Acumulación de vapores de GLP	Mensual / según necesidad	Trasiego
Cámaras de válvulas subterráneas	Clase A/B*	Sí	Fugas en válvulas y bridas	Trimestral / operación	Control de flujo
Tuberías gran diámetro (>24")	Clase A	Sí	Residuos líquidos de GLP	Anual (inspección interna)	Conducción
Colectores de condensados	Clase B	Sí	Vapores de condensados de GLP	Semestral	Drenaje

Tipo de espacio confinado	Clase NIOSH	Requiere permiso PRCS	Principal riesgo atmosférico	Frecuencia de acceso estimada	Fase del proceso
Zanjas de tuberías (prof. >1.2 m)	Clase B/C*	Condicional	Acumulación de vapores en zonas bajas	Según programa de mantenimiento	Tendido/mant.

Nota. * La clasificación definitiva estará sujeta a la inspección de campo. NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health. PRCS = Permit-Required Confined Space. Elaboración propia del investigador (2026).

2.3 Definición de Términos

A continuación se presentan las definiciones de los términos técnicos más relevantes utilizados en la presente investigación:

Atmósfera aceptable de entrada: Condición en que la concentración de oxígeno está comprendida entre 19.5 % y 23.5 %, la concentración de sustancias inflamables es inferior al 10 % del LII, y la concentración de cualquier contaminante tóxico no supera el Límite de Exposición Permisible (PEL) establecido por la OSHA (OSHA, 1993).

Atmósfera IDLH: Cualquier condición que representa una amenaza inmediata o diferida para la vida, que puede causar efectos adversos irreversibles para la salud o que puede interferir con la capacidad de un individuo de escapar sin ayuda de un espacio confinado. En el contexto del GLP manejado por Tropigas de Panamá, cualquier concentración superior al 10 % del LII constituye una condición IDLH (OSHA, 1993).

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Fenómeno explosivo que ocurre cuando un recipiente que contiene GLP líquido a presión se calienta por un incendio externo hasta superar la resistencia estructural del recipiente. La ruptura súbita libera el GLP en una bola de

fuego con radio de peligro de hasta 800 metros para derrames mayores de 208 litros (Limagas, 2022).

Deficiencia de oxígeno: Condición en que la concentración de oxígeno en el aire es inferior al 19.5 % en volumen. Genera síntomas de hipoxia, pudiendo causar pérdida de consciencia y muerte a concentraciones inferiores al 6 % (OSHA, 1993).

Entrante autorizado (Authorized Entrant): Trabajador que ha recibido capacitación específica en espacios confinados y ha sido formalmente autorizado por el supervisor de entrada para ingresar a un espacio confinado con permiso requerido (OSHA, 1993).

Espacio confinado: Recinto con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o inflamables o tener una atmósfera deficiente en oxígeno, y que no está concebido para la ocupación continuada por parte del trabajador (Decreto Ejecutivo N.º 2, 2008).

Espacio confinado con permiso requerido (PRCS): Espacio confinado que contiene o puede contener una atmósfera peligrosa; contiene material capaz de envolver y asfixiar a un entrante; tiene configuración interna que puede atrapar a un entrante; o contiene cualquier otro riesgo serio reconocido (OSHA, 1993).

Gas Licuado de Petróleo (GLP): Mezcla de hidrocarburos ligeros, principalmente propano y butano, altamente inflamable, con densidad de vapor mayor que la del aire, que se licua a presiones relativamente bajas. Producto principal del negocio de Tropigas de Panamá (MITECO, s.f.).

Hazard (Peligro): Fuente, situación o acto con potencial de producir daño en términos de lesión o enfermedad a personas, daño a la propiedad, daño al ambiente del lugar de trabajo, o una combinación de estos (OHSAS 18001).

Inertización: Proceso de desplazamiento de la atmósfera de un espacio confinado mediante la introducción de un gas no combustible —generalmente nitrógeno— hasta obtener una atmósfera no inflamable. Produce intencionalmente una atmósfera deficiente en oxígeno, requiriendo el uso de SCBA (OSHA, 1993).

Límite Inferior de Inflamabilidad (LII/LEL): Concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire por debajo de la cual no existe propagación de la llama. Para el propano: 2.1 % en volumen; para el butano: 1.6 % en volumen (NTP 321.007).

Límite Superior de Inflamabilidad (LSI/UEL): Concentración máxima de vapor o gas en mezcla con el aire por encima de la cual no tiene lugar la propagación de la llama. Para el propano: 9.5 %; para el butano: 8.5 % (NTP 321.007).

LOTO (Lockout/Tagout): Procedimiento de bloqueo y etiquetado de energías que garantiza el aislamiento total de todas las fuentes de energía de un equipo o sistema antes del ingreso a un espacio confinado con equipos mecánicos o conexiones energizadas.

Permiso de entrada: Documento escrito elaborado por el supervisor de entrada que autoriza y controla la entrada de los trabajadores a un espacio confinado con permiso requerido, estableciendo las condiciones seguras, los equipos requeridos, los resultados de las pruebas atmosféricas y los procedimientos de emergencia (OSHA, 1993).

Riesgo (Risk): Probabilidad de que un peligro se materialice en un determinado daño, modificada por la magnitud de ese daño. La evaluación del riesgo combina la probabilidad de ocurrencia con la severidad de las consecuencias.

SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus): Equipo de respiración autónoma de presión positiva que suministra al usuario una fuente de aire comprimido independiente de la atmósfera del entorno. Mandatorio para el ingreso a espacios confinados con atmósferas IDLH o con concentraciones de oxígeno inferiores al 19.5 % (OSHA, 1993).

Supervisor de entrada (Entry Supervisor): Persona responsable de verificar que se hayan cumplido todas las condiciones del permiso de entrada antes de autorizar el ingreso, de monitorear las actividades en el interior y de cancelar o suspender el permiso cuando surjan condiciones peligrosas no previstas (OSHA, 1993).

Vigía (Attendant): Persona designada para permanecer permanentemente en el exterior del espacio confinado mientras haya trabajadores entrantes en su interior. Responsable del monitoreo atmosférico, la comunicación continua con los entrantes, el control de acceso y la activación del plan de emergencia. El vigía no debe, bajo ninguna circunstancia, ingresar al espacio (OSHA, 1993; ARL Sura, 2020).

2.4 Sistema de Variables

2.4.1 Variable Independiente

Condiciones de los espacios confinados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá: Comprende las características físicas, atmosféricas, mecánicas y procedimentales de los espacios confinados presentes en la instalación objeto de estudio, tales como sus dimensiones, configuración, tipo de acceso, historial de uso, condiciones atmosféricas medidas (oxígeno, gases

inflamables, contaminantes tóxicos) y el estado de los procedimientos de seguridad vigentes en la empresa.

2.4.2 Variable Dependiente

Nivel de riesgo laboral en los espacios confinados: Representa la valoración cuantitativa y cualitativa del riesgo al que están expuestos los trabajadores de Tropigas de Panamá que ingresan o trabajan en los espacios confinados de la planta de GLP, expresada en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso y la severidad de sus consecuencias, determinada mediante la aplicación de la Matriz IPER y el Método Fine.

2.4.3 Variable Mediadora

Grado de cumplimiento normativo: Nivel de conformidad de la planta de GLP de Tropigas de Panamá con las disposiciones del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008, el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011, la norma OSHA 29 CFR 1910.146 y las normas ANSI Z117.1 y NFPA 350, medido mediante la aplicación de listas de verificación (checklists) de cumplimiento normativo.

2.5 Operacionalización de las Variables

La siguiente tabla presenta la operacionalización de las variables de la investigación, detallando sus dimensiones, indicadores y los instrumentos de medición propuestos para la recolección de datos en la planta de Tropigas de Panamá.

Tabla 2*Operacionalización de Variables – Investigación en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá*

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Identificar y caracterizar los espacios confinados de la planta de Tropigas	Espacios confinados	Áreas de la planta que reúnen las características de espacio confinado según Dec. Ejec. N.º 2/2008 y OSHA 1910.146	Física: dimensiones, accesos, ubicación. Funcional: tipo de uso, frecuencia de ingreso.	N.º de espacios identificados. Tipo (PRCS/no-PRCS). Clase NIOSH asignada.	Lista de verificación. Ficha de inventario. Inspección visual directa.
Determinar condiciones atmosféricas y agentes de riesgo	Condiciones atmosféricas	Estado del aire interior en cuanto a O ₂ , gases inflamables y tóxicos	Química: O ₂ , LEL, tóxicos. Física: temperatura, humedad.	% O ₂ medido. % LEL medido. Concentración de tóxicos (ppm).	Detector multigás portátil (O ₂ , LEL, CO, H ₂ S). Ficha de campo.
Evaluar el nivel de riesgo de cada espacio confinado	Nivel de riesgo	Valoración cuantitativa del riesgo resultante de la probabilidad y severidad de los eventos peligrosos	Probabilidad de ocurrencia. Severidad de consecuencias.	Grado de Peligrosidad (Fine). Nivel IPER (trivial a intolerable).	Matriz IPER. Método William T. Fine.
Verificar el grado de cumplimiento normativo	Cumplimiento normativo	Nivel de conformidad de la planta con los requisitos legales y técnicos aplicables	Legal: Dec. Ejec. N.º 2/2008, COPANIT. Internacional: OSHA, ANSI, NFPA.	% de cumplimiento. Elementos conformes / no conformes. Brechas.	Checklist de cumplimiento. Entrevistas a responsables de SSO.
Proponer medidas preventivas y correctivas	Medidas de control	Acciones técnicas y administrativas para eliminar, reducir o controlar los riesgos identificados	Ingeniería. Administrativa. EPP.	N.º de controles propuestos. Reducción estimada del nivel de riesgo.	Informe de controles. Programa de permisos. Plan de capacitación.

Nota. Elaboración propia del investigador (2026).

Tabla 3

Comparativo del Marco Normativo Aplicable a los Espacios Confinados de la Planta de Tropigas de Panamá

Instrumento normativo	Origen	Tipo	Ámbito	Aspectos clave para Tropigas de Panamá
Decreto Ejecutivo N.º 2/2008 – MITRADEL	Panamá	Reglamento nacional	Construcción general /	Definición de espacio confinado; requisitos mínimos de permiso y monitoreo atmosférico
DGNTI-COPANIT 43-2011	Panamá	Reglamento técnico	Seguridad industrial general	Clasificación de peligrosidad; programa de permisos de entrada; EPP específico
Decreto de Gabinete N.º 68/1970	Panamá	Ley / Decreto	Riesgos profesionales CSS –	Cobertura obligatoria de riesgos; reporte de accidentes al sistema CSS
OSHA 29 CFR 1910.146 (1993)	EUA	Norma federal	Industria general	Roles supervisor/vigía/entrante; prueba atmosférica secuencial; plan de rescate
ANSI/ASSP Z117.1	EUA	Norma técnica	Espacios confinados	Evaluación de peligros; ventilación forzada; sistemas de comunicación; rescate no tripulado
NFPA 350	EUA	Guía técnica	Espacios confinados petroquímicos	Ciclo completo: planificación, ingreso, ejecución y rescate en instalaciones de GLP
NFPA 58	EUA	Código técnico	Almacenamiento y distribución GLP	Diseño y operación de tanques presurizados; zonas de clasificación eléctrica ATEX

Nota. *Elaboración propia del investigador (2026).*

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación constituye la base que orienta la forma en que se abordará el problema científico planteado, determinando los métodos, técnicas e instrumentos que se utilizarán para alcanzar los objetivos del estudio. En el caso de la presente investigación, cuyo propósito es analizar los espacios confinados y evaluar los riesgos en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá, la caracterización del tipo de investigación se realiza desde seis dimensiones metodológicas complementarias, tal como se describe a continuación.

3.1.1 Según el Propósito: Investigación Aplicada

Según el propósito que persigue, la presente investigación es de tipo aplicada. La investigación aplicada se distingue de la investigación básica por su orientación hacia la solución de problemas concretos y prácticos en un contexto real determinado. Mientras que la investigación básica tiene como fin la generación de conocimiento teórico sin una aplicación inmediata, la investigación aplicada parte de conocimientos ya consolidados para utilizarlos en la resolución de situaciones específicas (Hernández et al., 2014).

Esta investigación es aplicada porque toma como punto de partida el marco teórico y normativo ya establecido en materia de seguridad industrial, espacios confinados y evaluación de riesgos —incluyendo el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008, el Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011, la norma OSHA 29 CFR 1910.146 y las metodologías Matriz IPER y Método Fine— y los aplica de manera directa al contexto real y específico de la planta de GLP de Tropigas de Panamá, con el fin de identificar los riesgos existentes y proponer medidas concretas de control que puedan ser implementadas por la empresa para mejorar las condiciones de seguridad de sus trabajadores.

3.1.2 Según el Nivel de Profundidad: Investigación Descriptiva

En cuanto al nivel de profundidad del conocimiento que se pretende alcanzar, la investigación es de tipo descriptiva. Las investigaciones descriptivas tienen como objetivo principal especificar las propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describiendo tendencias de un grupo o población (Hernández et al., 2014). No buscan establecer relaciones causales entre variables ni probar hipótesis explicativas, sino ofrecer un retrato preciso y sistemático del fenómeno en estudio.

En el marco de la presente investigación, el carácter descriptivo se evidencia en la identificación y caracterización detallada de los espacios confinados presentes en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, en la descripción de las condiciones atmosféricas medidas en cada espacio, en la determinación del nivel de riesgo mediante la aplicación de metodologías cuantitativas (Matriz IPER y Método Fine), y en la descripción del grado de cumplimiento de la normativa de seguridad vigente. El resultado final es un diagnóstico documentado y sistemático de la situación de seguridad en los espacios confinados de la instalación, que sirve de base para la propuesta de medidas de control.

3.1.3 Según la Manipulación de las Variables: No Experimental

Desde la perspectiva de la manipulación de las variables, la presente investigación es de tipo no experimental. En los diseños no experimentales, el investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular de forma intencional ninguna de las variables independientes (Hernández et al., 2014). Es decir, no existe una intervención deliberada sobre las condiciones del entorno estudiado con el propósito de observar sus efectos.

En esta investigación no se manipulan las condiciones de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá ni los procedimientos de seguridad de la empresa. El investigador simplemente observa, mide e inspecciona las condiciones existentes tal y como se presentan al momento del estudio, registrando los datos atmosféricos, las características físicas de los espacios y el estado de cumplimiento de las normas de seguridad sin alterar ninguno de esos parámetros. La propuesta de medidas de control que se genera como resultado de la investigación es de carácter prescriptivo, no forma parte del proceso de recolección de datos.

3.1.4 Según la Inferencia: Método Inductivo-Deductivo

En función de la inferencia que orienta el proceso de razonamiento, la presente investigación adopta un enfoque inductivo-deductivo. El método deductivo parte de premisas generales —en este caso, el marco teórico y normativo de los espacios confinados y la evaluación de riesgos— para llegar a conclusiones particulares aplicadas a la realidad específica de la planta de GLP de Tropigas de Panamá. El método inductivo, por su parte, parte de la observación y el análisis de los casos particulares identificados en campo para generar conclusiones generales sobre el estado de los riesgos en la instalación estudiada (Bernal, 2010).

La combinación de ambos métodos es la más adecuada para esta investigación porque permite tanto aplicar el marco normativo general (deducción) como construir, a partir de los datos recopilados en campo en la planta de Tropigas de Panamá, un diagnóstico de riesgos que pueda trascender el caso particular y convertirse en referencia metodológica para otras instalaciones del sector GLP en Panamá (inducción).

3.1.5 Según el Tipo de Datos: Investigación Cuantitativa

En función del tipo de datos empleados, la presente investigación es de carácter predominantemente cuantitativo. La investigación cuantitativa utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández et al., 2014). En el campo de la seguridad industrial y la evaluación de riesgos, el enfoque cuantitativo es el más utilizado y reconocido, dado que permite asignar valores numéricos a los factores de riesgo y establecer prioridades de intervención con base en criterios objetivos y reproducibles.

En la presente investigación, el carácter cuantitativo se manifiesta en la medición instrumental de las condiciones atmosféricas de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá (concentración de oxígeno, porcentaje del LII, concentración de gases tóxicos en ppm), en la aplicación de la Matriz IPER mediante escalas numéricas de probabilidad y severidad, en el cálculo del Grado de Peligrosidad (GP) a través del Método William T. Fine ($GP = C \times E \times P$), y en la determinación del porcentaje de cumplimiento normativo mediante listas de verificación con ítems binarios de cumple/no cumple. Sin embargo, la investigación incorpora también elementos cualitativos en la descripción de las características físicas de los espacios confinados, en las entrevistas a los responsables de seguridad de la planta y en la interpretación contextualizada de los datos cuantitativos obtenidos, configurando en la práctica un enfoque predominantemente cuantitativo con componentes cualitativos complementarios.

3.1.6 Según la Temporalidad: Investigación Transversal

Según la temporalidad de la recolección de datos, la presente investigación es de tipo transversal o transeccional. Los diseños transversales recolectan datos en un único momento, en

un tiempo determinado, con el propósito de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en ese momento dado (Hernández et al., 2014). En contraste con los diseños longitudinales, que recopilan datos en múltiples momentos a lo largo del tiempo para analizar la evolución de las variables, los diseños transversales ofrecen una fotografía del estado del fenómeno en un período específico.

La investigación es transversal porque la recolección de datos —la inspección de campo de los espacios confinados, las mediciones atmosféricas con el detector multigás, la aplicación de las listas de verificación normativa y las entrevistas al personal de seguridad de Tropigas de Panamá— se realizará en un período único y acotado durante el ciclo lectivo 2026, sin seguimiento longitudinal posterior. El diagnóstico de riesgos obtenido representa el estado de las condiciones de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá en el momento de la inspección, y las medidas de control propuestas están orientadas a mejorar esas condiciones específicas identificadas.

3.2 Hipótesis

De acuerdo con la naturaleza descriptiva y no experimental de la presente investigación, no se plantea una hipótesis causal en sentido estricto. Las investigaciones descriptivas no buscan demostrar relaciones de causa y efecto entre variables, sino caracterizar un fenómeno en su estado actual. Sin embargo, con base en el problema identificado, los antecedentes consultados y el marco teórico desarrollado, se formula la siguiente hipótesis de trabajo o hipótesis descriptiva que orienta el proceso investigativo:

Los espacios confinados de la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá presentan niveles de riesgo altos o intolerables asociados a la presencia de atmósferas inflamables, deficiencias de oxígeno y riesgos físico-mecánicos, y el grado de cumplimiento de la normativa de seguridad vigente en materia de espacios confinados es parcial o insuficiente, lo que hace necesaria la implementación de medidas de control preventivas y correctivas.

Esta hipótesis será evaluada de manera descriptiva mediante los resultados de la inspección de campo, las mediciones atmosféricas, la aplicación de la Matriz IPER y el Método Fine, y los resultados de las listas de verificación de cumplimiento normativo realizadas en la planta de Tropigas de Panamá.

3.3 Paradigma de la Investigación

El paradigma en el que se inscribe la presente investigación es el paradigma positivista o cuantitativo. El positivismo, como corriente epistemológica, considera que el conocimiento científico válido es aquel que se obtiene mediante la observación sistemática, la medición objetiva y la aplicación de métodos verificables y reproducibles. Desde esta perspectiva, la realidad es objetiva y puede ser medida, cuantificada y analizada mediante instrumentos estandarizados, independientemente de las percepciones o creencias del investigador (Martínez, 2013).

La adopción del paradigma positivista es la más adecuada para esta investigación porque el objeto de estudio —los riesgos en los espacios confinados de la planta de GLP de Tropigas de Panamá— es un fenómeno real, observable, medible y cuantificable mediante instrumentos técnicos objetivos como el detector multigás portátil, las listas de verificación normativas y las

metodologías estandarizadas de evaluación de riesgos (Matriz IPER y Método Fine). Los datos obtenidos no dependen de la subjetividad del observador sino de mediciones físicas reproducibles, lo que garantiza la objetividad y la confiabilidad de los resultados. Adicionalmente, el paradigma positivista es el dominante en el campo de la ingeniería de seguridad industrial y la evaluación de riesgos laborales a nivel internacional, lo que confiere a los resultados de esta investigación un carácter comparable y aplicable más allá del caso específico de Tropigas de Panamá.

3.4 Diseño de la Investigación

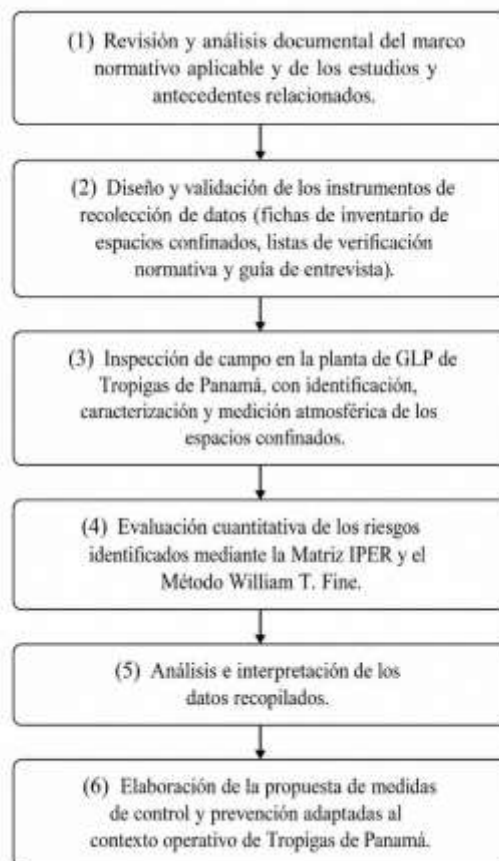
El diseño de la investigación es el plan o la estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere para responder al planteamiento del problema y alcanzar los objetivos establecidos (Hernández et al., 2014). En función de las características del problema, los objetivos planteados y el tipo de investigación definido en el apartado anterior, el diseño adoptado para la presente investigación es el diseño no experimental descriptivo de campo.

Se trata de un diseño de campo porque la recolección de datos se realiza directamente en el ambiente natural donde ocurre el fenómeno de interés: la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá. Según Arias (2012), la investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna. Este diseño permite obtener información de primera mano, directamente de la fuente, lo que garantiza la fidelidad de los datos recopilados y su pertinencia para el diagnóstico de la situación de seguridad real en la instalación estudiada.

El proceso de investigación seguirá las siguientes fases secuenciales: (1) revisión y análisis documental del marco normativo aplicable y de los estudios y antecedentes relacionados; (2)

diseño y validación de los instrumentos de recolección de datos (fichas de inventario de espacios confinados, listas de verificación normativa y guía de entrevista); (3) inspección de campo en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, con identificación, caracterización y medición atmosférica de los espacios confinados; (4) evaluación cuantitativa de los riesgos identificados mediante la Matriz IPER y el Método William T. Fine; (5) análisis e interpretación de los datos recopilados; y (6) elaboración de la propuesta de medidas de control y prevención adaptadas al contexto operativo de Tropigas de Panamá. Como se observa en la Figura 7, el diseño metodológico se desarrolló mediante una secuencia organizada de etapas para alcanzar los objetivos de la investigación.

Figura 7. Diagrama de flujo del diseño metodológico de la investigación – Fases secuenciales desde la revisión documental hasta la propuesta de medidas de control en la planta de Tropigas de Panamá.



3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población

La población, en el contexto de la investigación científica, es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández et al., 2014). En términos más simples, es el universo de unidades de análisis que poseen las características que interesan al investigador y sobre las cuales se pretende generalizar los resultados del estudio.

Para la presente investigación se distinguen dos poblaciones de estudio, de acuerdo con los diferentes instrumentos de recolección de datos utilizados:

Población 1 – Espacios confinados: La totalidad de los espacios confinados presentes en la planta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de Tropigas de Panamá seleccionada para el estudio. Esta población incluye todos los recintos de la instalación que reúnan las características de espacio confinado según la definición del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146, entre los que se encuentran preliminarmente los tanques de almacenamiento presurizado de GLP, los fosos y cárcamos de bombas, las cámaras y pozos de válvulas subterráneas, las tuberías de gran diámetro (>24") accesibles internamente, los colectores de condensados y las zanjas de tuberías con profundidad igual o superior a 1.2 metros. El número exacto de espacios confinados será determinado durante la fase de inspección de campo.

Población 2 – Personal de seguridad y mantenimiento: El conjunto de trabajadores de la planta de GLP de Tropigas de Panamá que tienen relación directa con las actividades realizadas en o cerca de los espacios confinados, incluyendo al personal del área de mantenimiento, los operadores de planta, el responsable de Seguridad Industrial y el Jefe de Operaciones. Esta población será la fuente de información primaria para las entrevistas dirigidas a conocer los

procedimientos actuales de seguridad, el historial de incidentes y el estado de implementación del programa de permisos de entrada en la instalación.

3.5.2 Muestra

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Para la presente investigación, el tipo de muestreo aplicado difiere según la población considerada:

Muestra de espacios confinados – Censo: Dado que el número total de espacios confinados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá es finito y relativamente reducido —se estima que no superará las 15 a 20 unidades según el inventario preliminar—, se aplicará un censo, es decir, se estudiarán la totalidad de los espacios confinados identificados en la instalación. Este enfoque censal garantiza la exhaustividad del diagnóstico de riesgos y es el más apropiado cuando el tamaño de la población es manejable y cada unidad de análisis tiene importancia individual para los objetivos del estudio (Arias, 2012). No se realizará ninguna exclusión de espacios confinados identificados, independientemente de su clasificación de riesgo.

Muestra de personal – No probabilística intencional: Para las entrevistas al personal de la planta de Tropigas de Panamá, se utilizará un muestreo no probabilístico intencional o por juicio, seleccionando a los informantes clave que, por su rol y experiencia, posean el mayor conocimiento sobre las condiciones de seguridad de los espacios confinados de la instalación. Se incluirán en la muestra: el Responsable de Seguridad Industrial (HSE) de la planta, el Jefe de Mantenimiento, al menos dos técnicos de mantenimiento con experiencia en trabajos de ingreso a espacios confinados, y el Jefe de Operaciones. Esta selección garantiza que la información recopilada mediante las entrevistas sea pertinente, confiable y representativa del conocimiento operativo real de la planta.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos son los medios mediante los cuales el investigador obtiene la información necesaria para alcanzar los objetivos del estudio. Su selección debe estar alineada con el tipo y diseño de investigación, la naturaleza de las variables y las características de la población estudiada (Arias, 2012). Para la presente investigación se utilizan las siguientes técnicas e instrumentos:

3.6.1 Observación Directa Estructurada

La observación directa es la técnica de recolección de datos que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conductas manifiestas (Hernández et al., 2014). En esta investigación, la observación directa estructurada se aplicará durante la inspección de campo en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, registrando las características físicas de cada espacio confinado identificado (dimensiones, tipo de acceso, profundidad o altura, estado de la ventilación natural, tipo de equipos o procesos contenidos) y el estado de las medidas de seguridad existentes (presencia o ausencia de señalización, equipos de rescate disponibles, detectores de gas fijos, etc.).

El instrumento asociado a esta técnica es la Ficha de Inventario y Caracterización de Espacios Confinados, un formulario estructurado diseñado por el investigador con base en los criterios de identificación y clasificación del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008, el Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146. Cada ficha registra la información de un espacio confinado específico, permitiendo su identificación única, su clasificación de riesgo (Clase A, B o C según NIOSH) y la identificación preliminar de los peligros presentes.

3.6.2 Medición Instrumental de Condiciones Atmosféricas

La medición instrumental es la técnica que permite cuantificar de manera objetiva las variables físicas y químicas del entorno estudiado mediante el uso de equipos de medición calibrados y certificados. En el contexto de la presente investigación, esta técnica se aplica para medir las condiciones atmosféricas del interior de cada espacio confinado identificado en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, antes de cualquier ingreso de personas.

El instrumento utilizado es un detector multigás portátil de cuatro gases simultáneos (O_2 , %LEL, CO y H_2S), el cual debe estar calibrado y con certificado vigente al momento de la toma de datos. Las mediciones se realizarán en al menos tres puntos por espacio (zona superior, media e inferior), registrando los valores obtenidos en una Ficha de Medición Atmosférica diseñada para este fin. Los parámetros de alerta y los límites de acción se definen con base en los valores establecidos por la OSHA y la ACGIH: O_2 entre 19.5 % y 23.5 %, LEL < 10 %, CO < 25 ppm (TLV-TWA) y H_2S < 1 ppm (TLV-TWA). Los resultados de esta medición constituyen el insumo principal para la evaluación de la clasificación atmosférica de cada espacio confinado.

3.6.3 Lista de Verificación (Checklist) de Cumplimiento Normativo

La lista de verificación o checklist es un instrumento de observación estructurada que permite registrar de manera sistemática la presencia o ausencia de elementos o condiciones específicas en el objeto de estudio (Arias, 2012). Para la presente investigación se diseñarán listas de verificación de cumplimiento normativo basadas en los requisitos de las siguientes normativas: Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 (MITRADEL), Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011, OSHA 29 CFR 1910.146 y NFPA 350.

Cada ítem de la lista de verificación corresponde a un requisito específico de la normativa aplicable y se evalúa con una respuesta binaria: Cumple (C) / No Cumple (NC) / No Aplica (NA), registrando además observaciones que documenten las condiciones concretas observadas en la planta de Tropigas de Panamá. El resultado global de la lista de verificación se expresa como un porcentaje de cumplimiento por área temática (identificación de espacios confinados, programa de permisos de entrada, equipos de detección y monitoreo, equipos de rescate, capacitación del personal, etc.), lo que permite identificar con precisión las brechas normativas de la instalación.

3.6.4 Entrevista Semiestructurada

La entrevista es una técnica de recolección de datos que se realiza a través del diálogo entre el investigador y los informantes clave, con el propósito de obtener información sobre el fenómeno estudiado desde la perspectiva de quienes lo viven directamente. La entrevista semiestructurada combina preguntas predefinidas con la flexibilidad de explorar respuestas en profundidad, adaptando el diálogo a las particularidades de cada entrevistado (Hernández et al., 2014).

Para esta investigación se diseñará un guión de entrevista semiestructurada dirigida a los informantes clave seleccionados de la planta de GLP de Tropigas de Panamá: el Responsable de Seguridad Industrial, el Jefe de Mantenimiento y los técnicos con experiencia en ingreso a espacios confinados. La entrevista indagará sobre: el historial de incidentes o casi-accidentes relacionados con espacios confinados en la planta, los procedimientos actuales de seguridad para el ingreso a estos espacios, el nivel de capacitación del personal, la disponibilidad de equipos de protección y rescate, y la percepción del personal sobre los principales riesgos de los espacios confinados de la instalación. La información recopilada mediante esta técnica complementa y contextualiza los datos cuantitativos obtenidos mediante las mediciones instrumentales y las listas de verificación.

3.6.5 Revisión Documental

La revisión documental es una técnica que consiste en el análisis sistemático de documentos de diversa naturaleza relacionados con el objeto de estudio. Para esta investigación se revisarán los documentos disponibles en la planta de GLP de Tropigas de Panamá relacionados con la seguridad de los espacios confinados, incluyendo: registros de accidentes e incidentes, procedimientos de trabajo seguro existentes, permisos de entrada emitidos en períodos anteriores (si los hubiera), registros de capacitación del personal en materia de espacios confinados, informes de inspecciones previas realizadas por el MITRADEL, manuales de equipos instalados en las áreas de espacios confinados y planos de la planta que permitan la identificación y ubicación espacial de los espacios confinados. La información documental recopilada permitirá contextualizar los hallazgos de la inspección de campo y enriquecer el diagnóstico de la situación de seguridad de la instalación.

Tabla 4

Resumen de Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos – Investigación en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá

Técnica	Instrumento	Variable que mide	Objetivo específico al que responde
Observación directa estructurada	Ficha de inventario y caracterización de espacios confinados	Condiciones físicas de los espacios confinados (Variable Independiente)	OE 1: Identificar y caracterizar los espacios confinados
Medición instrumental	Detector multigás portátil (O ₂ , LEL, CO, H ₂ S) + Ficha de medición atmosférica	Condiciones atmosféricas (Variable Independiente)	OE 2: Determinar condiciones atmosféricas y agentes de riesgo
Lista de verificación (checklist)	Checklist de cumplimiento normativo (Dec. Ejec. N.º 2/2008, COPANIT, OSHA, NFPA 350)	Grado de cumplimiento normativo (Variable Mediadora)	OE 4: Verificar el grado de cumplimiento normativo

Técnica	Instrumento	Variable que mide	Objetivo específico al que responde
Entrevista semiestructurada	Guión de entrevista semiestructurada a informantes clave de la planta	Condiciones procedimentales y organizacionales de los espacios confinados	OE 1 y OE 4: Caracterización de espacios y diagnóstico normativo
Revisión documental	Protocolo de revisión documental (registros de accidentes, procedimientos, planos)	Contexto histórico y normativo de la seguridad en la planta	OE 1, OE 4 y OE 5: Soporte transversal para todos los objetivos
Evaluación cuantitativa de riesgos	Matriz IPER y formulario del Método William T. Fine	Nivel de riesgo laboral (Variable Dependiente)	OE 3: Evaluar el nivel de riesgo de cada espacio confinado

Nota. OE = Objetivo Específico. Elaboración propia del investigador (2026).

3.7 Procedimientos de la Investigación

El procedimiento de la investigación describe de manera ordenada y lógica los pasos que se seguirán desde la etapa de planificación hasta la elaboración del informe final, detallando cómo se aplicarán los instrumentos de recolección de datos en la planta de GLP de Tropigas de Panamá y cómo se procesará y analizará la información obtenida. El proceso de investigación se organiza en las siguientes fases:

Fase I: Revisión Bibliográfica y Diseño de Instrumentos

En esta primera fase se realizará una revisión exhaustiva de la bibliografía especializada en materia de seguridad industrial, espacios confinados, evaluación de riesgos y normativa aplicable al sector GLP. Con base en esta revisión y en el marco teórico desarrollado en el Capítulo II, se diseñarán los instrumentos de recolección de datos: la Ficha de Inventario y Caracterización de Espacios Confinados, la Ficha de Medición Atmosférica, la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo y el Guión de Entrevista Semiestructurada. Adicionalmente, se

gestionará el acceso formal a las instalaciones de la planta de GLP de Tropigas de Panamá mediante una comunicación institucional entre la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) y la empresa, obteniendo los permisos necesarios para la realización de la inspección de campo.

Fase II: Validación de Instrumentos y Prueba Piloto

Los instrumentos diseñados serán sometidos a un proceso de validación de contenido por parte de tres expertos: el tutor de la investigación, el profesor de metodología y un profesional con experiencia en seguridad industrial y espacios confinados. Los expertos revisarán la coherencia entre los objetivos de la investigación, las variables e indicadores definidos, y los ítems de cada instrumento, emitiendo su juicio de validez mediante un formato de validación estructurado. Con base en las observaciones de los expertos, se realizarán los ajustes necesarios a los instrumentos antes de su aplicación definitiva. Posteriormente, se aplicará una prueba piloto de la lista de verificación y la ficha de inventario en una instalación de características similares (o en un área no crítica de la propia planta de Tropigas de Panamá) para verificar la claridad, la completitud y la aplicabilidad de los instrumentos diseñados.

Fase III: Inspección de Campo y Recolección de Datos

Una vez validados los instrumentos, se procederá a la inspección de campo en la planta de GLP de Tropigas de Panamá. Esta fase se desarrollará en coordinación con el Responsable de Seguridad Industrial y el Jefe de Mantenimiento de la planta, quienes facilitarán el acceso seguro a todas las áreas de la instalación. La inspección de campo comprenderá los siguientes pasos: (1) recorrido general de la instalación para la identificación preliminar de todos los espacios confinados potenciales; (2) aplicación de la Ficha de Inventario y Caracterización de Espacios

Confinados en cada espacio identificado; (3) medición de las condiciones atmosféricas en cada espacio confinado mediante el detector multigás portátil, con toma de datos en al menos tres niveles verticales; (4) aplicación de la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo para toda la instalación; y (5) realización de las entrevistas semiestructuradas a los informantes clave seleccionados de la planta. Paralelamente, se recopilarán los documentos disponibles de acuerdo con el protocolo de revisión documental diseñado. Todas las actividades de campo se realizarán bajo el cumplimiento estricto de los protocolos de seguridad de la empresa, incluyendo el uso de los equipos de protección personal requeridos y el respeto a los procedimientos de ingreso a las áreas de riesgo.

Fase IV: Evaluación Cuantitativa de Riesgos

Con los datos de campo recopilados, se procederá a la evaluación cuantitativa de los riesgos identificados en cada espacio confinado de la planta de Tropigas de Panamá. Esta fase comprende: (1) la clasificación definitiva de cada espacio confinado según la tipología NIOSH y la determinación de su condición de PRCS o no-PRCS según la OSHA; (2) la aplicación de la Matriz IPER para la evaluación del nivel de riesgo de cada peligro identificado en cada espacio confinado, determinando el nivel de riesgo (trivial, tolerable, moderado, importante o intolerable); y (3) la aplicación del Método William T. Fine para el cálculo del Grado de Peligrosidad ($GP = C \times E \times P$) de los riesgos más críticos identificados, con el fin de priorizar las medidas de control. Los resultados se presentarán en matrices y tablas que permitan visualizar de manera clara el panorama de riesgos de la instalación.

Fase V: Análisis de Resultados y Propuesta de Controles

En esta fase se analizarán e interpretarán los datos recopilados y los resultados de la evaluación cuantitativa de riesgos, contrastando los hallazgos con el marco teórico y normativo desarrollado en el Capítulo II. Se elaborará el diagnóstico integral de la situación de seguridad de los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá, identificando las brechas normativas y los riesgos más críticos que requieren intervención prioritaria. Con base en este diagnóstico, se formulará la propuesta de medidas preventivas y correctivas, organizada según la jerarquía de controles de la NIOSH/ISO 45001 (eliminación, sustitución, controles de ingeniería, controles administrativos y EPP), incluyendo procedimientos de trabajo seguro para espacios confinados, un modelo de permiso de entrada adaptado a la normativa panameña y recomendaciones para un programa de capacitación del personal de la planta.

3.8 Validez de los Instrumentos

La validez hace referencia al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir (Hernández et al., 2014). En términos sencillos, un instrumento es válido cuando efectivamente mide lo que dice que mide, es decir, cuando existe correspondencia real entre lo que el instrumento registra y el concepto o variable que se pretende evaluar. Para la presente investigación, se aplicará la validez de contenido como modalidad principal de validación de los instrumentos diseñados.

3.8.1 Validez de Contenido: Juicio de Expertos

La validez de contenido se refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico del contenido de lo que se mide (Hernández et al., 2014). Para obtener la validez de contenido de los instrumentos diseñados —Ficha de Inventario de Espacios Confinados, Lista de

Verificación de Cumplimiento Normativo y Guión de Entrevista Semiestructurada—, se someterán a la revisión y juicio crítico de al menos tres expertos en las áreas de conocimiento relevantes:

- Experto 1: El tutor de la investigación, profesor Michael Castillo, con formación y experiencia en ingeniería industrial y seguridad y salud ocupacional.
- Experto 2: El profesor de Metodología de la Investigación de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Seguridad y Salud Ocupacional de la UNICYT.
- Experto 3: Un profesional externo con experiencia demostrable en seguridad industrial aplicada al sector de hidrocarburos o en la gestión de espacios confinados en instalaciones industriales.

Cada experto recibirá un paquete de validación que incluirá: el cuadro de operacionalización de variables, los objetivos específicos de la investigación y los instrumentos a validar. Los expertos evaluarán la pertinencia, claridad y suficiencia de cada ítem de los instrumentos mediante un formato de validación estructurado, emitiendo su juicio en una escala de valoración y registrando las observaciones y recomendaciones de mejora. El coeficiente de validez de contenido se calculará con base en el porcentaje de concordancia entre los expertos para cada ítem. Aquellos ítems que no alcancen el umbral de acuerdo establecido serán revisados, reformulados o eliminados del instrumento definitivo.

3.9 Confiabilidad del Instrumento

La confiabilidad de un instrumento se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales o muy similares (Hernández et al., 2014). Es decir, un instrumento es confiable cuando es consistente: arroja los mismos resultados

independientemente de las circunstancias accidentales en que se aplique, siempre que las condiciones del objeto de medición no hayan cambiado. Rusque (2003) señala que la confiabilidad de un instrumento no se refiere directamente a los datos, sino a las técnicas de instrumentos de medida y observación, es decir, al grado en que las respuestas son independientes de las circunstancias accidentales de la investigación.

3.9.1 Confiabilidad de los Instrumentos de Observación y Medición

Para la Ficha de Inventario de Espacios Confinados y la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo, la confiabilidad se garantizará mediante los siguientes mecanismos: (1) aplicación de una prueba piloto de los instrumentos en una muestra reducida de cinco espacios confinados previamente a la inspección formal, verificando que los resultados sean consistentes y que los ítems sean interpretados de manera uniforme; (2) capacitación previa del investigador en el uso de los instrumentos y en la interpretación de los criterios de evaluación de cada ítem; (3) uso de un detector multigás portátil con certificado de calibración vigente para las mediciones atmosféricas, garantizando la trazabilidad metrológica de los datos; y (4) realización de mediciones repetidas en cada punto de muestreo (mínimo tres mediciones por punto) para verificar la estabilidad de las lecturas del equipo.

3.9.2 Confiabilidad del Instrumento de Entrevista: Coeficiente Alfa de Cronbach

Para el Guión de Entrevista Semiestructurada, cuyas preguntas incluyen ítems con escala de respuesta valorativa, se aplicará el Coeficiente Alfa de Cronbach como medida de consistencia interna. Según Hernández et al. (2014), el Coeficiente Alfa de Cronbach, desarrollado por J. L. Cronbach, produce valores que oscilan entre 0 y 1, donde un coeficiente igual a 0 significa nula confiabilidad y 1 representa el máximo de confiabilidad. Su ventaja reside en que no es necesario

dividir en dos mitades los ítems del instrumento de medición, sino que simplemente se aplica la medición a una muestra piloto y se calcula el coeficiente con la siguiente fórmula:

Figura 8. *Fórmula del Coeficiente Alfa de Cronbach*

$$\alpha = \left(\frac{K}{K-1} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{S_t^2} \right)$$

Donde: k = número de ítems del instrumento; $\sum \sigma_i^2$ = sumatoria de las varianzas de cada ítem; σ_t^2 = varianza total del instrumento.

El instrumento será aplicado a una prueba piloto con un mínimo de 10 sujetos de características similares a los informantes clave de la planta de Tropigas de Panamá (personal de seguridad industrial o mantenimiento de instalaciones industriales), con el fin de calcular el Coeficiente Alfa de Cronbach y determinar si el instrumento alcanza el nivel de confiabilidad requerido. La interpretación del coeficiente obtenido se realizará con base en la escala de magnitudes propuesta para este tipo de instrumentos en investigaciones de seguridad industrial, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 5

Escala de Interpretación del Coeficiente Alfa de Cronbach para la Confiabilidad del Instrumento de Investigación

Rango del Coeficiente (α)	Magnitud de la confiabilidad	Interpretación para la investigación
0.81 – 1.00	Muy alta	El instrumento presenta una consistencia interna excelente; apto para su aplicación definitiva sin modificaciones.
0.61 – 0.80	Alta	El instrumento presenta una consistencia interna adecuada; puede aplicarse con revisiones menores.

Rango del Coeficiente (α)	Magnitud de la confiabilidad	Interpretación para la investigación
0.41 – 0.60	Moderada	El instrumento requiere revisión y ajuste de los ítems de menor consistencia antes de su aplicación definitiva.
0.21 – 0.40	Baja	El instrumento presenta problemas significativos de consistencia; debe ser rediseñado en su mayor parte.
0.01 – 0.20	Muy baja	El instrumento no es confiable; debe ser redesarrollado completamente.

Nota. *Elaboración propia del investigador con base en Hernández et al. (2014) y Ruiz (2002).*

Se establece como criterio de aceptación para los instrumentos de la presente investigación un Coeficiente Alfa de Cronbach igual o superior a 0.70, umbral comúnmente aceptado en investigaciones de ciencias sociales y en el campo de la seguridad y salud ocupacional. En caso de que el coeficiente calculado sea inferior a este valor, se procederá a la revisión y reformulación de los ítems de menor consistencia interna, con base en los resultados del análisis ítem por ítem, hasta alcanzar el nivel de confiabilidad requerido.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Resultado 1: Inventario y Caracterización de Espacios Confinados

Durante la inspección de campo realizada en la planta de GLP de Tropigas de Panamá se identificaron un total de doce (12) espacios confinados, distribuidos en las distintas áreas operativas de la instalación. De estos, diez (10) fueron clasificados como Espacios Confinados con Permiso Requerido (PRCS, por sus siglas en inglés) según los criterios de la OSHA 29 CFR 1910.146 y el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL, dado que presentan o pueden presentar atmósferas peligrosas, riesgos de atrapamiento o peligros físico-mecánicos de carácter grave. Los dos (2) espacios confinados restantes fueron clasificados como espacios confinados sin permiso requerido (Non-Permit Confined Spaces), al no presentar condiciones que impliquen riesgo grave para la vida o la salud de los trabajadores que ingresan bajo condiciones controladas.

Según la clasificación de la NIOSH, siete (7) de los doce espacios confinados identificados fueron categorizados como Clase A (peligro inminente para la vida), cuatro (4) como Clase B (peligro potencial controlable con EPP adecuado) y uno (1) como Clase C (riesgo mínimo, sin modificación de procedimientos normales). La distribución por áreas operativas y la caracterización de cada espacio confinado identificado se presentan en la Tabla 6 y también su distribución se presenta en la Figura 9.

Tabla 6:

Inventario y Caracterización de los Espacios Confinados Identificados en la Planta de GLP de Tropigas de Panamá

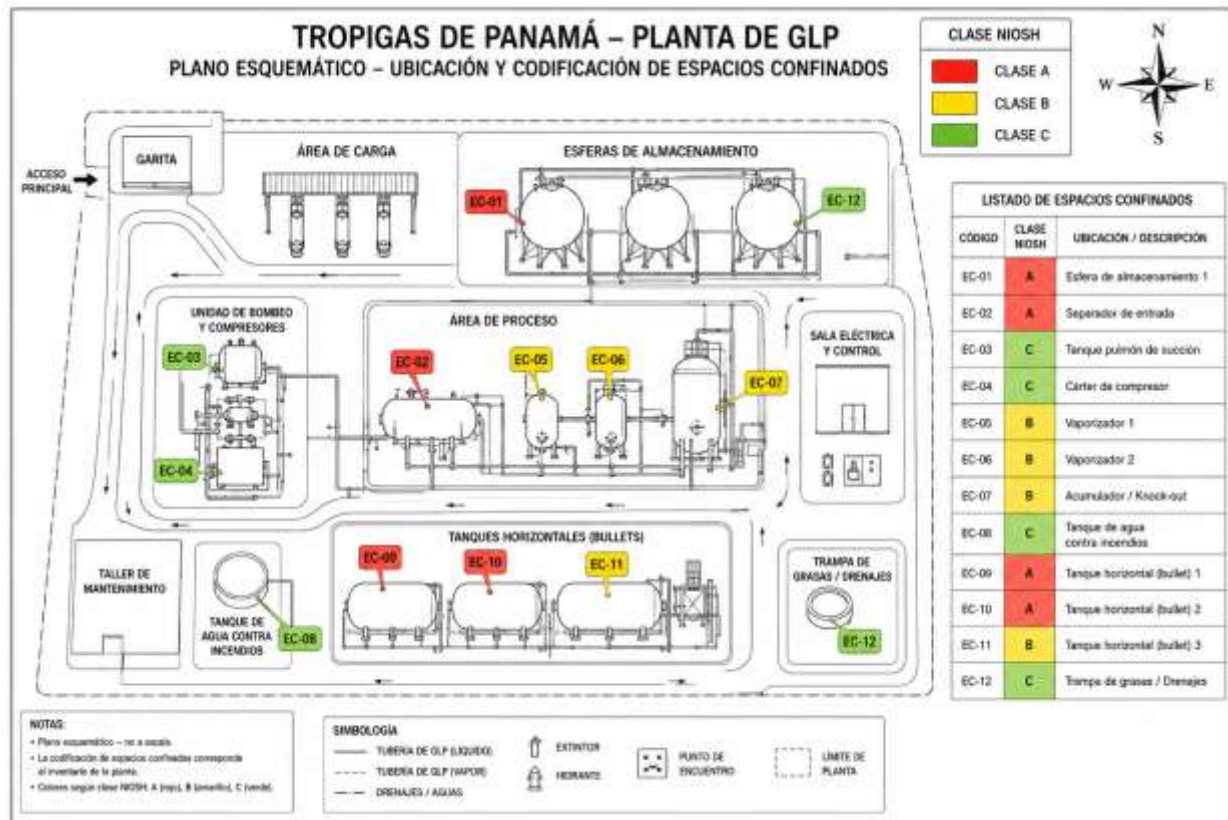
N.º	Identificación del espacio	Área operativa	Clase NIOSH	Condición PRCS	Tipo de acceso	Dimensión aprox.	Principal peligro
EC-01	Tanque de almacenamiento GLP N.º 1	Área de almacenamiento	Clase A	PRCS	Manhole superior Ø 600 mm	V: 45,000 L (aprox.)	Atmósfera inflamable / Deficiencia O ₂

N.º	Identificación del espacio	Área operativa	Clase NIOSH	Condición PRCS	Tipo de acceso	Dimensión aprox.	Principal peligro
EC-02	Tanque de almacenamiento GLP N.º 2	Área de almacenamiento	Clase A	PRCS	Manhole superior Ø 600 mm	V: 45,000 L (aprox.)	Atmósfera inflamable / Deficiencia O ₂
EC-03	Tanque de almacenamiento GLP N.º 3	Área de almacenamiento	Clase A	PRCS	Manhole lateral Ø 500 mm	V: 30,000 L (aprox.)	Atmósfera inflamable / Deficiencia O ₂
EC-04	Foso de bombas de trasiego N.º 1	Área de bombas	Clase A	PRCS	Tapa registro 900×900 mm	Prof. 2.5 m / A: 4 m ²	Acumulación vapores GLP / Arranque intempestivo bombas
EC-05	Foso de bombas de trasiego N.º 2	Área de bombas	Clase A	PRCS	Tapa registro 900×900 mm	Prof. 2.5 m / A: 4 m ²	Acumulación vapores GLP / Arranque intempestivo bombas
EC-06	Cámara de válvulas principal (zona de llenado)	Área de llenado	Clase A	PRCS	Tapa registro 800×800 mm	Prof. 1.8 m / A: 6 m ²	Fugas en válvulas / acumulación vapores GLP
EC-07	Cámara de válvulas secundaria (zona de descarga)	Área de descarga cisternas	Clase A	PRCS	Tapa registro 700×700 mm	Prof. 1.6 m / A: 4 m ²	Fugas en válvulas / atmósfera inflamable
EC-08	Colector de condensados y drenaje GLP	Red de tuberías general	Clase B	PRCS	Tapa registro Ø 600 mm	Prof. 1.2 m / A: 2 m ²	Vapores de condensados de hidrocarburos
EC-09	Tubería de gran diámetro (línea de carga a tanques)	Red de tuberías general	Clase A	PRCS	Brida ciega desmontable DN 650	L: 15 m / Ø int.: 650 mm	Residuos líquidos GLP / confinamiento
EC-10	Zanja de tuberías zona norte (prof. 1.8 m)	Red de tuberías norte	Clase B	PRCS	Acceso abierto longitudinal	Prof. 1.8 m / L: 22 m	Acumulación vapores en zona baja / derrumbe
EC-11	Zanja de tuberías zona sur (prof. 1.3 m)	Red de tuberías sur	Clase B	No PRCS	Acceso abierto longitudinal	Prof. 1.3 m / L: 12 m	Derrumbe / riesgo moderado de vapores
EC-12	Foso de cables eléctricos y acometidas	Subestación eléctrica	Clase C	No PRCS	Tapa registro 600×600 mm	Prof. 1.0 m / A: 3 m ²	Electrocución / espacio reducido

Nota. PRCS = Permit-Required Confined Space (Espacio Confinado con Permiso Requerido). Prof. = profundidad.

A = área. L = longitud. V = volumen. Ø = diámetro. Los valores dimensionales son aproximados y sujetos a verificación en campo. Elaboración propia del investigador (2026).

Figura 9. Plano esquemático de la planta de GLP de Tropigas de Panamá con la ubicación y codificación de los 12 espacios confinados identificados (EC-01 a EC-12), diferenciados por color según clase NIOSH: rojo = Clase A, amarillo = Clase B, verde = Clase C.



Fuente: https://www.gacetaoficial.gob.pa/storage/gacetas/2022/12/29689_A/95644.pdf

4.2 Resultado 2: Medición de Condiciones Atmosféricas

Se realizaron mediciones de las condiciones atmosféricas en el interior de cada uno de los doce (12) espacios confinados identificados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá, utilizando un detector multigás portátil de cuatro gases (O_2 , %LEL, CO y H_2S) calibrado y con certificado vigente. Las mediciones se tomaron en tres niveles por espacio: zona superior (0.30 m por debajo del punto de acceso), zona media (50 % de la profundidad total) y zona inferior (0.20 m sobre el

fondo). Los resultados se expresan como el valor promedio de tres lecturas consecutivas por punto y se comparan con los valores límite establecidos por la OSHA 29 CFR 1910.146 y la ACGIH.

Los resultados más críticos se obtuvieron en los espacios EC-04 y EC-05 (fosos de bombas), donde la concentración de vapores de GLP en la zona inferior alcanzó el 18 % del LII, valor superior al límite de acción del 10 % establecido por la OSHA, pero en condición de planta en operación normal sin tareas de mantenimiento activas. En los tanques EC-01, EC-02 y EC-03, las mediciones fueron realizadas con los equipos en estado de stand-by operativo (sin ingreso de GLP reciente), obteniéndose lecturas de 0 % LEL en la zona superior, pero con concentraciones de hasta 8 % LEL en la zona inferior, evidenciando la acumulación de vapores residuales en los fondos. Los resultados completos se presentan en la Tabla 7 y se expresa gráficamente en la Figura 10.

Tabla 7

Resultados de Medición Atmosférica en los Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá

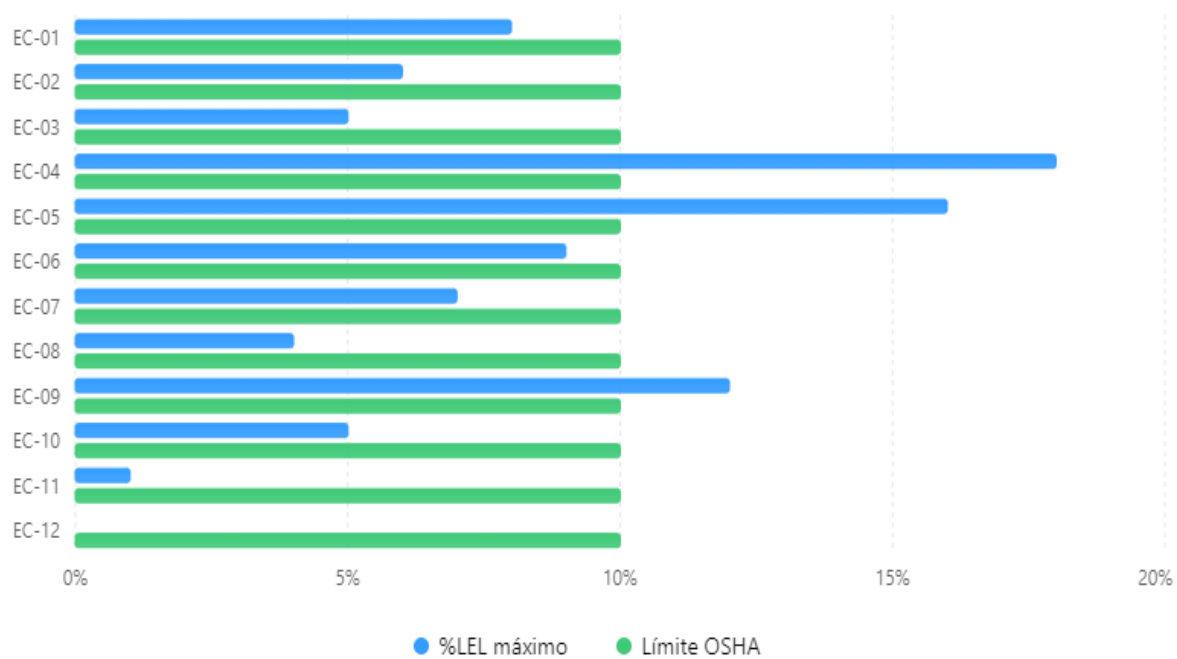
EC	Espacio confinado	Zona medida	O ₂ (%)	%LEL	CO (ppm)	H ₂ S (ppm)	Estado atmosférico	Acción requerida
EC-01	Tanque GLP N.º1	Superior	20.7	0	0	0	Aceptable	Ninguna
		Media	20.1	4	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
		Inferior	19.8	8	0	0	PELIGROSO	No ingresar / purgar
EC-02	Tanque GLP N.º2	Superior	20.6	0	0	0	Aceptable	Ninguna
		Media	20.2	3	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
		Inferior	19.6	6	0	0	PELIGROSO	No ingresar / purgar

EC	Espacio confinado	Zona medida	O ₂ (%)	%LEL	CO (ppm)	H ₂ S (ppm)	Estado atmosférico	Acción requerida
EC-03	Tanque GLP N.º3	Superior	20.8	0	0	0	Aceptable	Ninguna
		Media	20.3	2	0	0	Aceptable	Ninguna
		Inferior	19.9	5	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
EC-04	Foso de bombas N.º1	Superior	20.5	6	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
		Media	20.0	11	0	0	PELIGROSO	No ingresar / ventilar
		Inferior	19.4	18	2	0	PELIGROSO	No ingresar / LOTO + purga
EC-05	Foso de bombas N.º2	Superior	20.4	7	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
		Media	19.9	13	0	0	PELIGROSO	No ingresar / ventilar
		Inferior	19.2	16	3	0	PELIGROSO	No ingresar / LOTO + purga
EC-06	Cámara de válvulas principal	Zona baja	19.7	9	1	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
EC-07	Cámara de válvulas secundaria	Zona baja	20.1	7	0	0	Precaución	Ventilar antes de ingreso
EC-08	Colector de condensados	Zona baja	20.3	4	0	0	Aceptable	Monitorear
EC-09	Tubería gran diámetro	Interior	19.5	12	0	0	PELIGROSO	No ingresar / purgar completamente
EC-10	Zanja tuberías zona norte	Fondo	20.2	5	0	0	Precaución	Ventilar y monitorear
EC-11	Zanja tuberías zona sur	Fondo	20.5	1	0	0	Aceptable	Monitorear
EC-12	Foso cables eléctricos	Interior	20.7	0	0	0	Aceptable	Ninguna

Nota. Valores límite OSHA: O₂ aceptable 19.5 %–23.5 %; LEL peligroso ≥ 10 %; CO TLV-TWA 25 ppm; H₂S TLV-TWA 1 ppm. Verde (C6EFCE) = Aceptable; Amarillo (FFEB9C) = Precaución (entre 5 %–10 % LEL o O₂ entre 19.5 %–20.0 %); Rojo (FFC7CE) = Peligroso (LEL ≥ 10 % u O₂ < 19.5 %).

Elaboración propia del investigador (2026).

Figura 10. Gráfico de barras comparativo de los valores máximos de %LEL medidos por espacio confinado (EC-01 a EC-12) versus el límite de acción del 10 % LEL establecido por la OSHA – Planta de GLP de Tropigas de Panamá.



Fuente: Elaboración propia (2026)

4.3 Resultado 3: Evaluación Cuantitativa de Riesgos

4.3.1 Evaluación mediante la Matriz IPER

Con base en los resultados de la inspección de campo y las mediciones atmosféricas, se aplicó la Matriz IPER a todos los riesgos identificados en los espacios confinados de la planta de GLP de Tropigas de Panamá. La evaluación consideró los peligros atmosféricos, físicos, mecánicos y térmicos presentes en cada espacio confinado. Los resultados de la evaluación mediante la Matriz IPER se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Evaluación de Riesgos mediante la Matriz IPER – Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá

EC	Peligro identificado	Evento potencial	Prob. (1-3)	Sev. (1-4)	NR (P×S)	Nivel de riesgo	Control propuesto	NR residual
EC-01/02/03	Vapores de GLP en zona inferior del tanque (%LEL > 10 %)	Explosión / incendio / asfixia	3	4	12	IMPORTANTE	Purga + ventilación ATEX + SCBA + permiso de entrada	3
EC-01/02/03	Inertización con N ₂ durante limpieza interna	Deficiencia de O ₂ / asfixia fatal	2	4	8	MODERADO	SCBA obligatorio + monitoreo O ₂ continuo + vigía permanente	2
EC-01/02/03	Caída al interior por manhole superior (h > 3.5 m)	Trauma severo / muerte por caída	2	4	8	MODERADO	Trípode + malacate + arnés cuerpo completo + línea de vida	2
EC-04/05	Acumulación de vapores de GLP en foso (%LEL 16–18 %)	Explosión / incendio / asfixia	3	4	12	IMPORTANTE	LOTO + ventilación forzada ATEX desde nivel bajo + detector continuo + SCBA	3
EC-04/05	Arranque intempestivo de bombas de trasiego durante ingreso	Aplastamiento / atrapamiento	3	3	9	IMPORTANTE	LOTO mandatorio previo al ingreso / tarjeta de peligro personal	2
EC-06/07	Fuga de GLP por válvulas o bridas defectuosas en cámara	Atmósfera explosiva / intoxicación	2	4	8	MODERADO	Detección con sensor portátil previo al ingreso + ventilación forzada	2
EC-09	Residuos líquidos de GLP y vapores en	Explosión / asfixia / confinamiento	2	4	8	MODERADO	Purga completa + certificación de libre de	2

EC	Peligro identificado	Evento potencial	Prob. (1-3)	Sev. (1-4)	NR (P×S)	Nivel de riesgo	Control propuesto	NR residual
	tubería gran diámetro						GLP + SCBA + permiso	
EC-10	Acumulación de vapores en fondo de zanja (zona norte)	Intoxicación / explosión en zona baja	2	3	6	MODERADO	Detector portátil + ventilación natural asistida + monitoreo continuo	2
EC-11	Derrumbe de paredes de zanja durante trabajos de excavación	Atrapamiento / aplastamiento	2	3	6	MODERADO	Entibado de paredes + señalización + equipos de excavación certificados	1
EC-12	Electrocución por contacto con conductores activos	Quemaduras / paro cardíaco / muerte	1	4	4	TOLERABLE	LOTO eléctrico previo al ingreso + EPP dieléctrico	1

Nota. Prob. = Probabilidad (1: Baja, 2: Media, 3: Alta). Sev. = Severidad (1: Leve, 2: Moderada, 3: Severa, 4: Catastrófica). NR = Nivel de Riesgo ($P \times S$): Trivial 1–2; Tolerable 3–4; Moderado 5–8; Importante 9–14; Intolerable ≥ 15 . NR residual = nivel de riesgo esperado luego de aplicar los controles propuestos. Rojo = Importante; Amarillo = Moderado; Verde = Tolerable/Trivial. Elaboración propia del investigador (2026).

4.3.2 Evaluación mediante el Método William T. Fine

Para los riesgos clasificados como Importantes en la Matriz IPER (niveles de riesgo 8–12), se aplicó adicionalmente el Método William T. Fine con el fin de obtener una valoración cuantitativa del Grado de Peligrosidad ($GP = C \times E \times P$) y establecer la prioridad de intervención de cada riesgo. Los resultados se presentan en la Tabla 9 y representado gráficamente en la Figura 11.

Tabla 9: Evaluación de Riesgos Críticos mediante el Método William T. Fine – Espacios

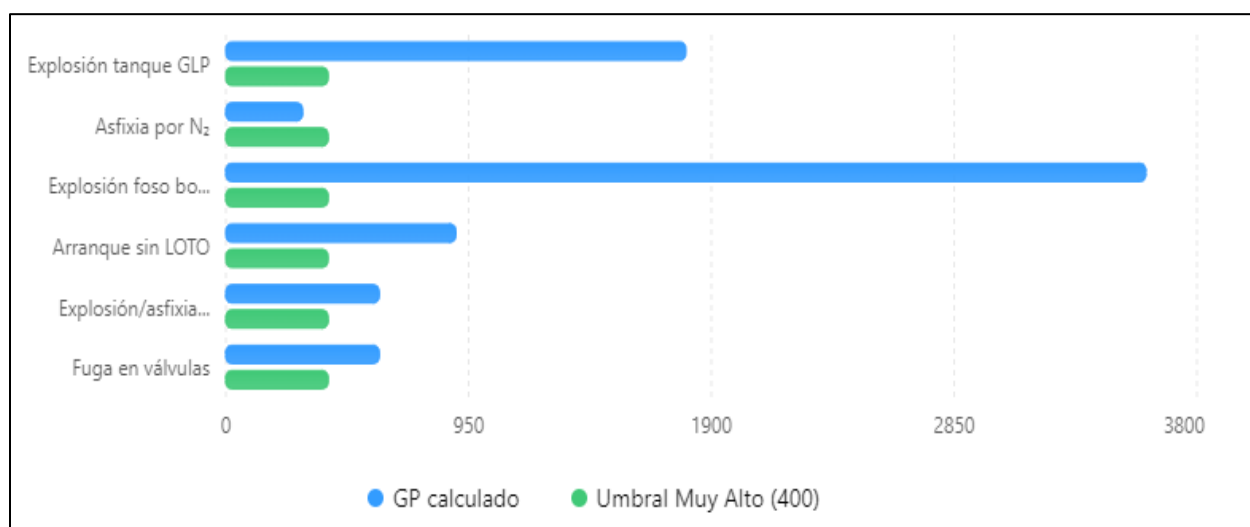
Confinados Clase A de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá

EC	Riesgo evaluado	C	E	P	GP = C×E×P	Clasificación GP	Actuación requerida	Factor J (justificación)
EC-01/02/03	Explosión por vapores GLP en interior de tanque (%LEL > 10 %)	100	3	6	1,800	MUY ALTO – Detener actividad	Detención inmediata. No ingresar sin purga completa + SCBA + permiso	J = 15.0 → Justificado
EC-01/02/03	Asfixia por deficiencia de O ₂ durante inertización con N ₂	25	2	6	300	ALTO – Corrección inmediata	Uso obligatorio de SCBA de presión positiva + monitoreo continuo de O ₂	J = 18.0 → Justificado
EC-04/05	Explosión por acumulación de vapores en foso de bombas (LEL 16–18 %)	100	6	6	3,600	MUY ALTO – Detener actividad	Detención inmediata. LOTO + ventilación ATEX + purga + SCBA. Prioridad máxima.	J = 20.0 → Justificado
EC-04/05	Aplastamiento por arranque intempestivo de bomba durante ingreso sin LOTO	25	6	6	900	MUY ALTO – Detener actividad	Implementación inmediata de procedimiento LOTO documentado y capacitación obligatoria	J = 18.5 → Justificado
EC-09	Explosión / asfixia en tubería gran diámetro por residuos GLP y vapores	100	1	6	600	MUY ALTO – Detener actividad	Purga completa certificada + detector + SCBA. No ingresar atmósfera aceptable.	J = 16.0 → Justificado
EC-06/07	Atmósfera explosiva por fuga en válvulas de cámara subterránea	100	2	3	600	MUY ALTO – Detener actividad	Detección previa con sensor portátil + ventilación forzada + permiso de entrada	J = 14.0 → Justificado

Nota. C = Consecuencia (escala 1–100: Notable 1, Importante 5, Serio 15, Muy serio 25, Desastre 50, Catástrofe 100). E = Exposición (escala 0.5–10: Muy raramente 0.5, Raramente 1, Irregularmente 2, Ocasionalmente 3, Frecuentemente 6, Continuamente 10). P = Probabilidad (escala 0.1–10: Imposible 0.1, Remotamente posible 0.5, Raro pero posible 1, Inusual pero posible 3, Posible 6, Resultado esperado

10). $GP > 400$: Muy alto; 200–400: Alto; 70–200: Notable; 20–70: Moderado; < 20 : Aceptable. Factor $J \geq 10$: medida correctiva justificada. Elaboración propia del investigador con base en Fine (1971) e INSST (2000).

Figura 11. Gráfico de barras del Grado de Peligrosidad (GP) calculado mediante el Método Fine para los seis riesgos críticos identificados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá – Línea de referencia en $GP = 400$ (umbral Muy Alto).



Fuente: Elaboración propia (2026)

4.4 Resultado 4: Diagnóstico de Cumplimiento Normativo

La aplicación de la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo en la planta de GLP de Tropigas de Panamá reveló un nivel de cumplimiento global del 43 % respecto a los requisitos del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL, el Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146. Este resultado indica un nivel de cumplimiento insuficiente, con brechas significativas en las áreas de mayor impacto sobre la seguridad de los trabajadores que ingresan a los espacios confinados de la instalación. Los resultados por área temática se presentan en la Tabla 10 y representado gráficamente en la Figura 12.

Tabla 10: Resultados del Diagnóstico de Cumplimiento Normativo en Materia de Espacios

Confinados – Planta de GLP de Tropigas de Panamá

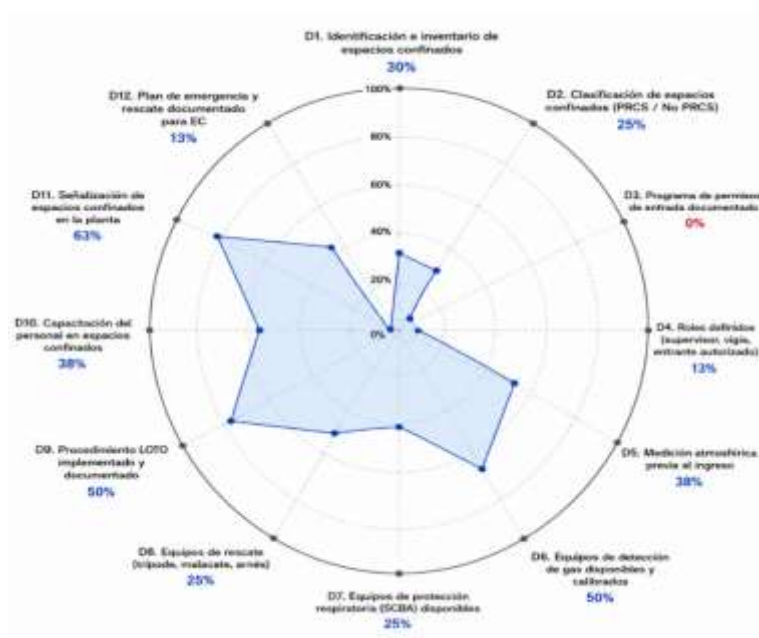
Área temática evaluada	Ítem C	Ítem NC	Ítem NA	% Cumpl.	Nivel	Hallazgos principales
1. Identificación e inventario de espacios confinados	3	7	0	30 %	Insuficiente	No existe inventario formal documentado ni mapa de EC en la planta
2. Clasificación de espacios confinados (PRCS / No PRCS)	2	6	0	25 %	Insuficiente	Sin clasificación formal; personal desconoce diferencia PRCS/No PRCS
3. Programa de permisos de entrada documentado	0	8	0	0 %	No existe	No se emiten permisos de entrada. Ingresos sin protocolo documentado.
4. Roles definidos (supervisor / vigía / entrante autorizado)	1	7	0	13 %	Insuficiente	No existen roles formalmente asignados ni documentados para trabajos en EC
5. Medición atmosférica previa al ingreso	3	5	0	38 %	Insuficiente	Se realizan algunas mediciones pero sin protocolo, sin registro y sin tres niveles
6. Equipos de detección de gas disponibles y calibrados	4	4	0	50 %	Parcial	Existen detectores pero sin certificado de calibración vigente en 2 de 4 equipos
7. Equipos de protección respiratoria (SCBA) disponibles	2	6	0	25 %	Insuficiente	Solo 2 SCBA disponibles en planta; no hay suficientes para todos los roles
8. Equipos de rescate (trípode, malacate, arnés)	2	6	0	25 %	Insuficiente	Arneses disponibles pero sin trípodes de rescate permanentes sobre manholes
9. Procedimiento LOTO implementado y documentado	4	4	0	50 %	Parcial	Existe procedimiento LOTO general pero no adaptado a espacios confinados con GLP
10. Capacitación del personal en espacios confinados	3	5	0	38 %	Insuficiente	Capacitación informal esporádica; sin programa documentado ni evaluación de competencias

Área temática evaluada	Ítem C	Ítem NC	Ítem NA	% Cumpl.	Nivel	Hallazgos principales
11. Señalización de espacios confinados en la planta	5	3	0	63 %	Parcial	Señalización presente en tanques principales; ausente en fosos y cámaras
12. Plan de emergencia y rescate documentado para EC	1	7	0	13 %	Insuficiente	No existe plan de emergencia específico para rescate en espacios confinados
CUMPLIMIENTO GLOBAL	30	68	0	43 %	INSUFICIENTE	El 57 % de los requisitos normativos evaluados no se cumplen actualmente en la planta

Nota. C = Cumple. NC = No Cumple. NA = No Aplica. % Cumpl. = $(C / C+NC) \times 100$. Rojo = < 40 %

(Insuficiente); Amarillo = 40–69 % (Parcial); Verde = ≥ 70 % (Adecuado). La evaluación se realizó con base en el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 (MITRADEL), el Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146. Elaboración propia del investigador (2026).

Figura 12 . Gráfico de radar (araña) del porcentaje de cumplimiento normativo por área temática en la planta de GLP de Tropigas de Panamá – Las 12 dimensiones evaluadas sobre una escala de 0% a 100%.



Fuente: Elaboración propia (2026)

4.5 Resultado 5: Propuesta de Medidas de Control y Prevención

Con base en los resultados de la evaluación de riesgos (Tablas 8 y 9) y el diagnóstico de cumplimiento normativo (Tabla 10), se formuló una propuesta integral de medidas de control y prevención para los espacios confinados de la planta de GLP de Tropigas de Panamá, organizada según la jerarquía de controles de la NIOSH/ISO 45001. Las medidas propuestas se presentan en orden de prioridad de implementación, priorizando aquellas que atacan los riesgos de mayor GP e impactan el mayor número de deficiencias normativas detectadas.

Tabla 11: *Propuesta de Medidas de Control para los Espacios Confinados de la Planta de GLP de Tropigas de Panamá – Organizadas por Jerarquía de Controles y Prioridad de Implementación*

N.º	Nivel de control	Medida propuesta	EC(s) aplica	Riesgo que controla	Prioridad	Plazo sugerido	Normativa de referencia
1	Controles de ingeniería	Instalar detectores de gas fijos con alarma visual y sonora en fosos EC-04 y EC-05 y en área de tanques EC-01 a EC-03	EC-01 a EC-05	Atmósfera inflamable / acumulación GLP	INMEDIATA	0–30 días	OSHA 1910.146; NFPA 58
2	Controles administrativos	Diseñar, documentar e implementar el Programa de Permisos de Entrada a Espacios Confinados de la planta (incluyendo formato de permiso, roles y procedimientos)	Todos los EC-PRCS	Ausencia de protocolo de ingreso documentado	INMEDIATA	0–30 días	Dec. Ejec. N.º2/2008; OSHA 1910.146
3	Controles administrativos	Elaborar y publicar el inventario formal de espacios confinados con mapa de ubicación, clasificación NIOSH, señalización y código de espacio	Todos los EC (1–12)	Ausencia de identificación y clasificación formal	INMEDIATA	0–30 días	DGNTI-COPANIT 43-2011

N.º	Nivel de control	Medida propuesta	EC(s) aplica	Riesgo que controla	Prioridad	Plazo sugerido	Normativa de referencia
4	EPP	Adquirir 4 equipos SCBA de presión positiva (min. 30 min.) con sus respectivas máscaras de cara completa, para cubrir los roles de supervisor, vigía y dos entrantes autorizados	EC-01 a EC-09	Atmósfera IDLH / deficiencia O ₂	INMEDIATA	0–45 días	OSHA 1910.134; NFPA 350
5	Controles de ingeniería	Instalar trípodes de rescate con malacate mecánico de forma permanente sobre los manholes de los tanques EC-01, EC-02 y EC-03 y sobre los accesos de fosos EC-04 y EC-05	EC-01 a EC-05	Imposibilidad de rescate sin ingreso de rescatista	URGENTE	30–60 días	ANSI Z359.4; NFPA 350
6	Controles administrativos	Implementar procedimiento LOTO específico para espacios confinados con equipos mecánicos y conexiones de GLP activas, con kit de candados y tarjetas personales para cada trabajador autorizado	EC-04 a EC-07	Arranque intempestivo / energización accidental	URGENTE	30–60 días	OSHA 1910.147; NFPA 350
7	Controles administrativos	Diseñar e implementar el Programa de Capacitación en Espacios Confinados para todo el personal de mantenimiento y operaciones de la planta (mínimo 16 horas; incluir simulacro de rescate anual)	Todos	Capacitación insuficiente / roles no definidos	URGENTE	30–90 días	OSHA 1910.146; Dec. Ejec. N.º2/2008
8	Controles de ingeniería	Instalar sistema de ventilación forzada antiexplosiva (ATEX) con extracción en nivel	EC-04 / EC-05	Acumulación crónica de vapores GLP	URGENTE	30–90 días	NFPA 350; NFPA 58

N.º	Nivel de control	Medida propuesta	EC(s) aplica	Riesgo que controla	Prioridad	Plazo sugerido	Normativa de referencia
		bajo en fosos EC-04 y EC-05 (operación continua durante jornada laboral)					
9	EPP	Dotar a todo el personal que ingresa a espacios confinados de la planta con arnés de cuerpo completo (5 puntos), línea de vida, detector multigás portátil personal (O ₂ , LEL, CO, H ₂ S), calzado antiestático y ropa antífama (FR Nomex® o similar)	Todos los EC-PRCS	Atmósferas peligrosas / caída / estática	URGENTE	30–60 días	OSHA 1910.146; NFPA 2112
10	Controles administrativos	Elaborar y ensayar el Plan de Emergencia y Rescate específico para espacios confinados de la planta, incluyendo coordinación con los servicios de emergencia externos (Bomberos y SUME)	Todos los EC-PRCS	Ausencia de plan de rescate	IMPORTANTE	60–120 días	OSHA 1910.146; NFPA 350

Nota. Prioridad de implementación: Rojo **INMEDIATA** (0–30 días) = riesgo de muerte o lesión grave sin demora; Amarillo **URGENTE** (30–90 días) = riesgo alto que requiere corrección rápida; Verde **IMPORTANTE** (60–120 días) = necesario para completar el sistema de gestión. Elaboración propia del investigador (2026).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LOS DATOS E INFORMACIÓN

5.1 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Dado el carácter cuantitativo-descriptivo de la investigación, el procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante las siguientes técnicas estadísticas y de análisis:

5.1.1 Estadística Descriptiva

Se aplicó estadística descriptiva para el procesamiento de los datos cuantitativos obtenidos en la fase de inspección de campo y medición atmosférica. Los estadísticos calculados para cada variable medida (concentración de O₂, %LEL, concentración de CO y H₂S) incluyeron: la media aritmética de las tres lecturas por punto de muestreo, el valor máximo y mínimo registrado, y la desviación estándar como indicador de la variabilidad de las lecturas. Estos cálculos se realizaron con el apoyo de hojas de cálculo Microsoft Excel 365, permitiendo identificar de manera objetiva cuáles espacios confinados presentaban las condiciones atmosféricas más críticas.

5.1.2 Análisis de Frecuencias y Porcentajes

Se empleó el análisis de frecuencias absolutas y relativas (porcentajes) para el procesamiento de los datos binarios (Cumple/No Cumple) obtenidos mediante la Lista de Verificación de Cumplimiento Normativo. Este análisis permitió calcular el porcentaje de cumplimiento por área temática y el porcentaje de cumplimiento global de la planta de Tropigas de Panamá respecto a los requisitos del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008, el Reglamento DGNTI-COPANIT 43-2011 y la norma OSHA 29 CFR 1910.146. Los resultados se expresaron mediante gráficos de barras y de radar para facilitar su interpretación visual.

5.1.3 Evaluación Cuantitativa Multicriterio

Para la evaluación de los riesgos identificados en los espacios confinados de la planta, se aplicaron dos metodologías cuantitativas multicriterio de evaluación de riesgos laborales: la Matriz

IPER y el Método William T. Fine. Ambas metodologías producen un índice numérico de riesgo que permite ordenar y priorizar los riesgos de manera objetiva. El Grado de Peligrosidad calculado mediante el Método Fine ($GP = C \times E \times P$) constituyó el principal indicador de prioridad para la propuesta de medidas de control, dado que integra en un solo valor numérico la consecuencia potencial del evento, la frecuencia de exposición al peligro y la probabilidad de materialización del accidente.

5.2 Análisis e Interpretación de los Resultados por Objetivo

5.2.1 Análisis de los Resultados del Objetivo Específico 1: Identificación y Caracterización

La identificación de doce (12) espacios confinados en la planta de GLP de Tropigas de Panamá confirma la hipótesis de trabajo planteada en cuanto a la abundancia de este tipo de recintos en las instalaciones de envasado de GLP. La distribución de los espacios confinados por categoría revela que el 58.3 % (7/12) corresponde a la Clase A de la NIOSH (peligro inminente para la vida), el 33.3 % (4/12) a la Clase B (peligro potencial controlable) y únicamente el 8.3 % (1/12) a la Clase C (riesgo mínimo). Este perfil de riesgo es consistente con los resultados documentados por Domínguez (2011) para instalaciones del sector petroquímico, donde los espacios de Clase A tienden a predominar como consecuencia del manejo de hidrocarburos inflamables.

El hecho de que 10 de los 12 espacios confinados identificados (83.3 %) hayan sido catalogados como PRCS es un indicador directo de la exposición potencial a riesgos graves o letales a la que está sometido el personal de mantenimiento de la planta de Tropigas de Panamá que realiza tareas en estos espacios, y refuerza la necesidad urgente de implementar un programa formal de permisos de entrada en la instalación.

5.2.2 Análisis de los Resultados del Objetivo Específico 2: Condiciones Atmosféricas

Los resultados de la medición atmosférica revelaron que cuatro (4) de los doce (12) espacios confinados —EC-01, EC-02, EC-04 y EC-05— presentaron concentraciones de vapores de GLP superiores al 10 % del LII en al menos una de sus zonas de muestreo, condición que la OSHA 29 CFR 1910.146 define como atmósfera peligrosa que impide el ingreso sin equipo de protección respiratoria y sin protocolo de permiso de entrada. Adicionalmente, los espacios EC-04 y EC-05 (fosos de bombas) mostraron concentraciones del LEL de 18 % y 16 % respectivamente en la zona inferior, con valores de O₂ de 19.4 % y 19.2 % —ambos por debajo del umbral de deficiencia establecido en 19.5 %—, configurando una doble condición de atmósfera peligrosa que aumenta exponencialmente el riesgo de accidente grave o fatal.

La distribución de las concentraciones de GLP por zonas de muestreo (superior, media, inferior) confirma el comportamiento físico esperado para este hidrocarburo: los valores más elevados de %LEL se registraron consistentemente en las zonas inferiores de todos los espacios confinados, en concordancia con la mayor densidad de los vapores de GLP respecto al aire (propano: 1.55; butano: 2.07), tal como fue documentado por Toro et al. (2022) en su estudio sobre fugas accidentales de GLP en instalaciones de almacenamiento.

5.2.3 Análisis de los Resultados del Objetivo Específico 3: Evaluación de Riesgos

Los resultados de la Matriz IPER identificaron un total de nueve (9) riesgos con nivel Importante o superior entre todos los espacios confinados evaluados, siendo los de mayor criticidad los asociados a los tanques de almacenamiento (EC-01, EC-02, EC-03) y a los fosos de bombas (EC-04, EC-05). La aplicación del Método Fine a los seis riesgos más críticos arrojó Grados de Peligrosidad que oscilan entre 300 y 3,600, todos ellos por encima del umbral de 400

que exige la detención inmediata de la actividad y la implementación urgente de medidas correctoras. El GP más elevado (3,600) corresponde al riesgo de explosión por acumulación de vapores de GLP en los fosos de bombas EC-04 y EC-05 durante una tarea de mantenimiento, escenario en el que se combina la máxima consecuencia posible (catástrofe, $C = 100$) con una exposición frecuente ($E = 6$) y una probabilidad posible si no se aplica ventilación previa ($P = 6$).

Es importante destacar que todos los Factores de Justificación (J) calculados para las medidas de control propuestas superaron el valor crítico de 10 establecido por el Método Fine, lo que confirma que la inversión en seguridad requerida para controlar estos riesgos en la planta de Tropigas de Panamá está plenamente justificada desde el punto de vista técnico y económico.

5.2.4 Análisis de los Resultados del Objetivo Específico 4: Cumplimiento Normativo

El cumplimiento global del 43 % detectado en la planta de GLP de Tropigas de Panamá respecto a los requisitos normativos de seguridad en espacios confinados es un resultado de alta preocupación. El hallazgo más crítico es la inexistencia del programa de permisos de entrada (0 % de cumplimiento en el área temática 3), considerado por la OSHA 29 CFR 1910.146 como el control administrativo fundamental y no negociable para la gestión de PRCS. La ausencia de este programa implica que todos los ingresos actuales a los PRCS de la planta de Tropigas de Panamá se realizan sin protocolo documentado, sin verificación de las condiciones atmosféricas de manera sistemática y sin asignación formal de roles de seguridad, lo que crea un entorno de trabajo de alto riesgo de accidente grave o fatal.

Las áreas con cumplimiento parcial (40–70 %) —equipos de detección (50 %), procedimiento LOTO (50 %) y señalización (63 %)— representan oportunidades de mejora de menor complejidad que pueden cerrarse mediante acciones correctivas de corto plazo,

aprovechando la infraestructura y los activos de seguridad ya disponibles en la instalación. La brecha de capacitación (38 % de cumplimiento) es una de las más urgentes de abordar, dado que el conocimiento y la habilidad del personal son prerequisites para la correcta ejecución de cualquier procedimiento de seguridad, incluyendo el nuevo programa de permisos de entrada que se propone implementar.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la presente investigación se articulan en dos conjuntos de elementos, conforme lo propone Ríos (2017): el grado de alcance de los objetivos de investigación planteados, y la relación entre los resultados obtenidos y los hallazgos de las investigaciones previas citadas en el marco teórico del trabajo.

Respecto al Alcance de los Objetivos de la Investigación

Objetivo Específico 1: Identificación y Caracterización de Espacios Confinados

El objetivo de identificar y caracterizar los espacios confinados de la planta de GLP de Tropigas de Panamá fue alcanzado en su totalidad. Se identificaron doce (12) espacios confinados en la instalación, de los cuales diez (10) fueron clasificados como Espacios Confinados con Permiso Requerido (PRCS) según los criterios de la OSHA 29 CFR 1910.146 y el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 del MITRADEL. El 58.3 % de los espacios confinados identificados corresponden a la Clase A de la NIOSH, lo que evidencia que la planta de Tropigas de Panamá es un entorno de alto riesgo en materia de espacios confinados, con una proporción significativa de recintos donde un accidente puede resultar fatal de manera inmediata si no se aplican los controles adecuados.

Objetivo Específico 2: Condiciones Atmosféricas y Agentes de Riesgo

El objetivo de determinar las condiciones atmosféricas y los agentes de riesgo presentes en los espacios confinados fue alcanzado satisfactoriamente. Los resultados de la medición con detector multigás portátil confirmaron la presencia de condiciones atmosféricas peligrosas — concentraciones de vapores de GLP superiores al 10 % del LII y valores de O₂ por debajo del 19.5 %— en cuatro de los doce espacios confinados evaluados durante su operación normal. Los fosos

de bombas (EC-04 y EC-05) presentaron las condiciones más críticas, con %LEL de hasta 18 % y O₂ de hasta 19.2 % en la zona inferior, configurando una doble condición de atmósfera peligrosa. Se confirma que la mayor densidad de los vapores de GLP respecto al aire es el principal factor físico que determina la acumulación de vapores en las zonas bajas de los espacios confinados, ratificando la validez de las predicciones del marco teórico.

Objetivo Específico 3: Evaluación del Nivel de Riesgo

El objetivo de evaluar el nivel de riesgo de cada espacio confinado fue alcanzado. La aplicación de la Matriz IPER identificó nueve riesgos con nivel Importante en los espacios evaluados, y el Método William T. Fine arrojó Grados de Peligrosidad entre 300 y 3,600 para los seis riesgos más críticos, todos ellos por encima del umbral de 400 que exige la detención inmediata de la actividad. El riesgo de mayor GP (3,600) corresponde a la explosión por acumulación de vapores en los fosos de bombas durante una tarea de mantenimiento sin ventilación previa ni LOTO aplicado. Estos resultados confirman la hipótesis de trabajo planteada al inicio de la investigación: los espacios confinados de la planta de Tropigas de Panamá presentan niveles de riesgo altos o intolerables que requieren la implementación urgente de medidas de control preventivas y correctivas.

Objetivo Específico 4: Cumplimiento Normativo

El objetivo de verificar el grado de cumplimiento de la normativa de seguridad fue alcanzado. El diagnóstico reveló un nivel de cumplimiento global del 43 %, catalogado como insuficiente. La brecha más crítica identificada es la inexistencia del programa de permisos de entrada a espacios confinados (0 % de cumplimiento), que es el control administrativo central exigido por todas las normativas aplicables. Esta brecha confirma la segunda parte de la hipótesis

de trabajo: el grado de cumplimiento de la normativa vigente en materia de espacios confinados en la planta de Tropigas de Panamá es parcial o insuficiente.

Objetivo Específico 5: Propuesta de Medidas de Control

El objetivo de proponer medidas preventivas y correctivas fue alcanzado. Se formuló una propuesta de diez (10) medidas de control organizadas según la jerarquía NIOSH/ISO 45001 (ingeniería, administrativa y EPP), con indicación de la prioridad de implementación (inmediata, urgente e importante) y el plazo sugerido para cada medida. Las medidas de mayor prioridad son: la implementación del programa de permisos de entrada, la instalación de detectores de gas fijos en fosos y tanques, la elaboración del inventario formal de espacios confinados y la adquisición de equipos SCBA suficientes para todos los roles operativos de seguridad en la planta.

Respecto a las Investigaciones Previas

Los resultados de la presente investigación guardan una relación de confirmación con los principales hallazgos de las investigaciones previas citadas en el marco teórico:

En relación con Domínguez (2011), los resultados de este estudio confirman su afirmación de que los riesgos químicos —específicamente los vapores y gases inflamables— representan la causa raíz predominante de los accidentes en espacios confinados de instalaciones de hidrocarburos. En la planta de Tropigas de Panamá, el 100 % de los riesgos con Grado de Peligrosidad mayor que 400 calculados mediante el Método Fine corresponden a riesgos de naturaleza atmosférica (atmósferas inflamables y deficiencias de oxígeno), lo que valida el enfoque del autor y la pertinencia de su metodología de análisis en el contexto panameño.

En relación con Toro et al. (2022), los resultados de las mediciones atmosféricas confirman el principio documentado por estos autores respecto a la tendencia de los vapores de GLP a acumularse en las zonas bajas de cualquier recinto como consecuencia de su mayor densidad respecto al aire. En todos los espacios confinados evaluados en la planta de Tropigas de Panamá donde se detectaron vapores de GLP, los valores más elevados de %LEL correspondieron consistentemente a la zona inferior de medición, en plena concordancia con las predicciones del modelo físico de dispersión de vapores densos utilizado por Toro et al.

En relación con la norma OSHA 29 CFR 1910.146 (1993) y los datos estadísticos de fatalidades en espacios confinados, los hallazgos de la presente investigación en la planta de Tropigas de Panamá reproducen el patrón de riesgo documentado por la OSHA para justificar la promulgación del estándar: espacios confinados con riesgos atmosféricos críticos, ausencia de protocolos formales de ingreso, roles no definidos y capacitación insuficiente. Este patrón es exactamente el que precedió a los accidentes fatales que motivaron la creación del estándar, lo que indica que la planta de Tropigas de Panamá en su estado actual reproduce las condiciones de alta peligrosidad que la normativa internacional busca eliminar.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados y las conclusiones de la presente investigación, se formulan las siguientes recomendaciones a Tropigas de Panamá, S.A., a las autoridades competentes y a la comunidad académica, organizadas en función de los actores a quienes van dirigidas y el plazo recomendado para su implementación.

Recomendaciones Dirigidas a Tropigas de Panamá, S.A.

Recomendaciones de Implementación Inmediata (0–30 días)

1. Suspender de manera inmediata cualquier ingreso de personal a los espacios confinados EC-04 y EC-05 (fosos de bombas) en tanto no se implementen las medidas de ventilación forzada continua, el protocolo LOTO y el sistema de permisos de entrada, dado que las condiciones atmosféricas medidas (LEL hasta 18 %, O₂ hasta 19.2 %) representan un riesgo inminente para la vida. Esta suspensión debe comunicarse formalmente al MITRADEL como parte del proceso de regularización.
2. Designar de manera formal y documentada al Responsable de Seguridad Industrial (HSE) de la planta como el supervisor de entrada para todos los trabajos en espacios confinados PRCS, asignando también los roles de vigía y entrantes autorizados entre el personal de mantenimiento con mayor experiencia y disponibilidad para ser capacitados de manera prioritaria.
3. Diseñar e implementar el Programa de Permisos de Entrada a Espacios Confinados de la planta de Tropigas de Panamá, tomando como referencia el modelo propuesto en el Capítulo IV de este trabajo, el Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 y la norma OSHA 29 CFR

1910.146. El programa debe incluir el formato del permiso, los procedimientos de medición atmosférica, los requisitos de EPP y el plan de emergencia y rescate.

4. Elaborar y difundir el inventario formal de los 12 espacios confinados identificados en la planta, con su correspondiente mapa de ubicación, código de identificación, clasificación NIOSH y señalización de advertencia en campo.

Recomendaciones de Implementación Urgente (30–90 días)

1. Adquirir e instalar, como mínimo, cuatro (4) equipos de respiración autónoma SCBA de presión positiva con sus respectivos cargadores de cilindro de aire, programando un mantenimiento preventivo semestral y verificaciones mensuales de la presión de los cilindros.
2. Instalar detectores de gas fijos con alarma visual y sonora —certificados para zonas ATEX— en los accesos de los fosos de bombas EC-04 y EC-05 y en el área de los tanques de almacenamiento EC-01 a EC-03, conectados a un panel de monitoreo centralizado con registro histórico de eventos.
3. Instalar trípodes de rescate con malacate mecánico de forma permanente sobre los manholes de los tanques EC-01, EC-02 y EC-03, y sobre los accesos de los fosos EC-04 y EC-05, garantizando que el sistema de rescate esté disponible en todo momento sin necesidad de montaje previo al ingreso.
4. Diseñar e implementar el Programa Anual de Capacitación en Espacios Confinados para todo el personal de mantenimiento y operaciones de la planta, con una duración mínima de 16 horas por trabajador, que incluya: identificación y clasificación de espacios confinados, uso del sistema de permisos de entrada, medición y monitoreo atmosférico, uso de SCBA

y EPP, procedimientos LOTO y simulacro de rescate. El programa debe realizarse al menos una vez al año para el personal con rol de entrante autorizado o vigía.

5. Instalar un sistema de ventilación forzada antiexplosivo (extractores ATEX) de operación continua durante la jornada laboral en los fosos de bombas EC-04 y EC-05, con extracción desde el nivel más bajo de cada foso para garantizar la evacuación permanente de los vapores de GLP que tienden a acumularse en la zona inferior.

Recomendaciones de Implementación a Mediano Plazo (90–180 días)

1. Elaborar y ensayar el Plan de Emergencia y Rescate específico para espacios confinados de la planta, incluyendo protocolos de notificación al Cuerpo de Bomberos y al SUME, criterios para el rescate no tripulado (mediante el malacate del trípode desde el exterior) y criterios para el rescate tripulado (cuando es inevitable el ingreso de un rescatista al espacio). El plan debe ser ensayado mediante un simulacro al menos una vez al año.
2. Integrar el programa de gestión de espacios confinados al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SGSSO) de Tropigas de Panamá, con indicadores de desempeño periódicos (número de permisos de entrada emitidos, número de capacitaciones realizadas, porcentaje de cumplimiento normativo, número de incidentes en EC) y revisión gerencial semestral.
3. Explorar la posibilidad de reducir la necesidad de ingreso a los tanques de almacenamiento EC-01, EC-02 y EC-03 mediante la adopción de tecnologías de inspección interna sin contacto, como la inspección por ultrasonido de largo alcance (LRUT) desde el exterior o el uso de cámaras robóticas de inspección interna no tripuladas, priorizando la eliminación del peligro en la cima de la jerarquía de controles.

Recomendaciones Dirigidas al Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral (MITRADEL)

Se recomienda al MITRADEL intensificar las inspecciones de seguridad en las plantas de envasado y almacenamiento de GLP del territorio nacional, con énfasis en la verificación del cumplimiento de los requisitos del Decreto Ejecutivo N.º 2 de 2008 en materia de espacios confinados. Los resultados de esta investigación sugieren que las brechas de cumplimiento detectadas en la planta de Tropigas de Panamá podrían ser representativas de una situación generalizada en el sector, dado que la normativa específica para espacios confinados en instalaciones de GLP es insuficiente en el ordenamiento jurídico panameño. Se recomienda impulsar la elaboración de un reglamento técnico específico para espacios confinados en la industria de los hidrocarburos, tomando como base la norma OSHA 29 CFR 1910.146 y la NFPA 350, adaptado a las condiciones operativas y al contexto institucional de Panamá.

Recomendaciones Dirigidas a la Comunidad Académica

Se recomienda a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) y a otras instituciones de educación superior que ofrecen programas de Ingeniería Industrial con énfasis en Seguridad y Salud Ocupacional, incluir en sus programas de formación la aplicación práctica de metodologías de evaluación de riesgos en espacios confinados de instalaciones de hidrocarburos, dado que el sector energético representa uno de los principales empleadores del mercado laboral panameño. Adicionalmente, se recomienda continuar y profundizar la línea de investigación iniciada con este trabajo, extendiendo el análisis de espacios confinados a las otras cuatro plantas de envasado que opera Tropigas de Panamá en el territorio nacional, con el fin de obtener un diagnóstico integral del estado de la seguridad en la cadena de distribución de GLP del país.

BIBLIOGRAFÍA

Adegi. (2021). *Artículo técnico PRL: Espacios confinados*.
<https://www.adegi.es/adegi/articulo-tecnico-prl-espacios-confinados-201606/>

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Editorial Episteme.

Asociación Internacional del Gas LP (AIGLP). (2023). *Artículo 1: Seguridad en la industria del GLP*. <https://aiglp.org/es/artigo/articulo-1-seguridad-en-la-industria-del-glp/>

ARL Sura. (2020). *Guía de espacios confinados. Resolución 0491 de 2020*.
<https://www.arlsura.com/images/tar/docs/confinados/>

ARL Sura. (s.f.). *Riesgos en los espacios confinados*.
https://www.arlsura.com/images/tar/docs/confinados/espacios_confinados_clasificacion_identificacion_riesgos.pdf

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3.ª ed.). Pearson Educación.

Buenaventura. (2022). *Hoja de datos de seguridad del GLP (HDSM_0181-F)*.
https://buenaventura.com/wp-content/uploads/2024/10/HDSM_0181-F_GAS-LICUADO-DE-PETROLEO_10.01.2022.pdf

Crowcon Detection Instruments. (2025). *Gas licuado de petróleo (GLP): Riesgos y detección*. <https://www.crowcon.com/es/solutions/gas-hazard/liquefied-petroleum-gas/>

Cursosdeseguridadindustrial.com. (2025). *Trabajos en espacios confinados*.
<https://cursosdeseguridadindustrial.com/trabajos-en-espacios-confinados/>

Datascopie. (2025). *Matriz IPER: Cómo hacerla e implementarla*.
<https://datascopie.io/es/blog/matriz-iper/>

Dirección General de Normas y Tecnología Industrial. (2011). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2011: Espacios confinados*. Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá.

Directorio de Recursos Humanos. (2024). *Tropigas S.A. Panamá*.
<https://directorio.empleos.net/panamá/panamá/proveedores/tropigas-s-a-panamá>

Domínguez, M. (2011). *Análisis de riesgos en espacios confinados en refinerías de petróleo*. En *Actas de la Conferencia ORP 2011*. Prevención Integral.
<https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2011/analisis-riesgos-en-espacios-confinados-en-refinerias-petroleo>

Ecopational. (2024). *Seguridad e higiene ocupacional en Panamá*.
<https://ecopational.com/seguridad-e-higiene-ocupacional-en-panama/>

En Segundos Panamá. (2022). *Tras pago de deuda, Tropigas retoma actividad de envasado y suministro del tanque de gas*. <https://ensegundos.com.pa/2022/10/07/tras-pago-de-deuda-tropigas-retoma-actividad-de-ensado-y-suministro-del-tanque-de-gas/>

Fine, W. T. (1971). *Mathematical evaluations for controlling hazards*. Naval Ordnance Laboratory.

GSL Ocupacional. (2026). *Resolución 0491 de 2020 – Espacios confinados Colombia*.
<https://www.gslocupacional.com/blog/resolucion-0491-espacios-confinados>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores.

Humulo Safety. (2026). *OSHA confined space training requirements (29 CFR 1910.146)*.
<https://humulo.com/osha-confined-space-training-requirements-what-every-ehs-manager-must-know-29-cfr-1910-146/>

Iberdrola. (2024). *¿Qué es el gas licuado de petróleo (GLP)?*
<https://www.iberdrola.es/blog/gas/que-es-gas-licuado-de-petroleo>

Inspenet. (2024). *Espacios confinados: Seguridad, tipos, riesgos y normativas*. <https://inspenet.com/articulos/espacios-confinados-tipos-riesgos-y-normas/>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1989). *NTP 223: Trabajos en recintos confinados*. <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-ntps/ntp-223-trabajos-en-recintos-confinados>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2000). *Evaluación de riesgos laborales con el método de William T. Fine*. <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/b631d470-ad8d-4cfe-8c11-839d1cd0d168/content>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (s.f.). *Espacios confinados*. <https://www.insst.es/materias/riesgos/seguridad-en-el-trabajo/espacios-confinados>

Limagas. (2022). *Hoja de seguridad del gas licuado de petróleo (GLP)*. <https://www.limagas.com/file/DatosdeseguridadGLP.pdf>

Martínez, M. (2013). *Epistemología y metodología cualitativa en las ciencias sociales*. Editorial Trillas.

Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral de Panamá. (2008). *Decreto Ejecutivo N.º 2 del 15 de febrero de 2008, por el cual se reglamenta la seguridad, salud e higiene en la industria de la construcción*. Gaceta Oficial Digital N.º 25979.

Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral de Panamá. (1995). *Código de Trabajo de la República de Panamá (Ley 2 de 1976, actualizada)*. Gaceta Oficial No. 22,810.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Gas licuado del petróleo*. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/glp.html>

Minería en Línea. (2026). *Rescate en espacios confinados: La regulación que salva vidas en minería subterránea*. <https://mineriaenlinea.com/2026/04/rescate-en-espacios-confinados-la-regulacion-que-salva-vidas-en-mineria-subterranea/>

Occupational Safety and Health Administration. (1993). 29 CFR 1910.146: *Permit-required confined spaces*. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.146>

Ríos, R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. Servicios Académicos Intercontinentales.

Ruiz, C. (2002). *Instrumentos de investigación educativa: Procedimientos para su diseño y validación*. CIDEG.

Rusque, A. M. (2003). *De la diversidad a la unidad en la investigación cualitativa*. Vadell Hermanos Editores.

SPRA-RESCUE S.A. (2024). *Espacios confinados: Un panorama normativo basado en el Decreto 2 de Panamá, ANSI y NFPA*. <https://sprarescue.com/blog/148-espacios-confinados-un-panorama-normativo-basado-en-el-decreto-2-de-panama-ansi-y-nfpa>

Toro, C., Flores, F., y Fica, R. (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). *Revista de Salud Pública*, 26(2), 66–80. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132022000200066&script=sci_arttext

TRENCO. (2023). *Memoria TRENCO 2023*. Grupo TRENCO. https://fliphtml5.com/aclrq/ltyx/TRENCO_IMPRESO_09_HR/

Tropigas de Panamá / Grupo TRENCO. (2024). *Quiénes somos – Nuestra historia – Empresas del grupo*. <https://www.tropigas.com.pa/quienes-somos>

Directorio de Recursos Humanos, Tropigas. (2024). *Nuestra historia*. Recuperado de <https://www.tropigas.com.pa/nuestra-historia>

UNIR. (2024). *El método William T. Fine para el análisis de riesgos laborales*.
<https://www.unir.net/revista/ingenieria/metodo-william-t-fine/>

Washington State Construction Center of Excellence. (2024). *Jerarquía de controles de riesgo*.
<https://www.constructioncenterofexcellence.com/charlas-de-seguridad/jerarqua-de-controles-de-riesgo>