Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

Modelo de gestión de riesgos laborales en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora Mendogas de la ciudad de Riobamba - Ecuador

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

AUTOR

Raul Gregorio MARTINEZ PEREZ

ASESOR

Dr. Jorge Enrique ORTIZ PORRAS

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Martinez, R. (2026). *Modelo de gestión de riesgos laborales en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora Mendogas de la ciudad de Riobamba - Ecuador*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Raul Gregorio Martinez Perez
Tipo de documento de identidad	Cédula de identidad
Número de documento de identidad	EC / 0502780497
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1552-7580
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Enrique Ortiz Porras
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40523944
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9605-3670
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Daniel Victor Surco Salinas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09722150
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alejandro Mena Ayala
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10451517
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	José Ovidio Flores Gutierrez
Tipo de documento	Carné de extranjería emitido en Perú
Número de documento de identidad	2318980
Datos de investigación	

Línea de investigación	2. Seguridad laboral, salud ocupacional, identificación de peligros y evaluación de riesgos ODS 3: SALUD Y BIENESTAR C.17.0.2
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Empresa: Planta envasadora MENDOGAS País: Ecuador Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba Parroquia: Calpi Latitud: -1.646624 Longitud: -78.763075
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04 Salud ocupacional https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.10 Ingeniería del Petróleo, Energía, Combustibles https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.03

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN N°019-UPG-FII-2026

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la ciudad de Lima del día miércoles ocho del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las diez horas, se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LOS PROCESOS DE DESCARGA, ENVASADO Y MANTENIMIENTO DE CILINDROS DE GLP EN LA PLANTA ENVASADORA MENDOGAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA ECUADOR",** presentado por el **Mg. RAUL GREGORIO MARTINEZ PEREZ,** para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido Aprobado con la calificación de Diecisiete (17) Muy Bueno.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de **DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL** al **Mg. RAUL GREGORIO MARTINEZ PEREZ.**

En señal de conformidad, siendo las 11:00 **horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

DR. DANIEL VICTOR SURCO SALINAS
Presidente

DR. ALEJANDRO MENA AYALA
Miembro

DR. JOSE OVIDIO FLORES GUTIERREZ
Miembro

DR. JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS** en mi condición de asesor(a) acreditado(a) mediante **DICTAMEN N°801-UPG-FII-2025** de la tesis, cuyo título es: "**MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LOS PROCESOS DE DESCARGA, ENVASADO Y MANTENIMIENTO DE CILINDROS DE GLP EN LA PLANTA ENVASADORA MENDOGAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA ECUADOR",** presentado por el(la) magíster **RAUL GREGORIO MARTINEZ PEREZ** para optar el grado académico de **DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**, **CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14**%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado académico de **DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.**

Lima, 03 de setiembre de 2026



Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS**

DNI: **40523944**

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1
1.1. Situación problemática 2
1.2. Formulación del problema 5
1.2.1. Problema General 6
1.2.2. Problemas Específicos 6
1.3. Justificación de la investigación 6
1.3.1. Justificación teórica 6
1.3.2. Justificación práctica 7
1.3.3. Justificación metodológica 8
1.3.4. Justificación social 8
1.4. Objetivos de la investigación 9
1.4.1. Objetivo General 9
1.4.2. Objetivos Específicos 9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 10
2.1. Antecedentes 10
2.1.1. Antecedentes Nacionales 10
2.1.2. Antecedentes Internacionales 13
2.2. Marco Epistemológico 16
2.2.1. Epistemología 16
2.2.2. Variable 17
2.2.3. Paradigma de investigación y Epistemología Regional 18
2.3. Bases teóricas 19
2.3.1. Marco Normativo de la Gestión de SST 20
2.3.2. El Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) 21
2.3.2.1. Gestión Administrativa (GA) y su Rol en la SST 22
2.3.2.2. La Centralidad de la Gestión del Talento Humano (GTH) 23
2.3.2.3. Gestión de Procesos Operativos (PO) como Barrera de Control 24
2.3.3. La Gestión Técnica (GTEC) como Componente Estructural Clave 25
2.3.4. La Percepción del Riesgo (RIESGO) como Indicador de Cultura Preventiva 26
2.3.5. El Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST) como Variable de Resultado 26

2.3.6. Fundamento Metodológico: El Modelamiento de Ecuaciones Estructurales (SEM) 27
2.4. Glosario 29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 31
3.1. Hipótesis General 31
3.2. Hipótesis Específicas 31
3.3. Identificación de variables 31
3.4. Operacionalización 33
3.5. Matriz de consistencia 35
3.6. Tipo y diseño de investigación 37
3.7. Unidad de análisis 38
3.8. Población de estudio 38
3.9. Tamaño de muestra 38
3.10. Selección de la muestra 39
3.11. Técnicas de recolección de datos 39
3.12. Análisis e interpretación de la información 41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS 44
4.1. Evaluación instrumental de condiciones de trabajo 44
4.1.1. Metodología de medición 45
4.1.2. Resultados por área 48
4.1.2.1. Área de Mantenimiento 48
4.1.2.2. Área de Descarga 49
4.1.2.3. Área de Envasado 50
4.1.3. Discusión de resultados instrumentales 50
4.1.4. Evaluación biomecánica postural de la manipulación manual de cargas 52
4.2. Implementación del ciclo de mejora continua (PDCA) 56
4.2.1. Fase Plan (Planificar) 57
4.2.1.1. Actualización del IPER (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos) 57
4.2.2. Elaboración del reglamento interno de seguridad y salud 58
4.2.3. Definición de indicadores de desempeño en SST 59
4.2.4. Fase Do (Hacer) 60
4.2.4.1. Charlas de capacitación 60
4.2.4.2. Entrega y uso de equipos de protección personal (EPP) 61
4.2.4.3. Señalización y mejoras operativas 62
4.2.4.4. Impacto inmediato de la fase Do 63
4.2.5. Fase Check (Verificar) 64

4.2.5.1. Auditorías internas y rondas de inspección 64
4.2.5.2. Retroalimentación de trabajadores..... 64
4.2.6. Fase Act (Actuar) 65
4.2.6.1. Acciones correctivas implementadas 65
4.2.6.2. Ajustes al reglamento interno 65
4.2.7. Consolidación de la mejora continua 66
4.3. Análisis para validación de resultados 67
4.3.1. Cuestionario de Evaluación del Sistema de Gestión de SST 70
4.3.2. Modelo de ecuaciones estructurales (SEM) propuesto..... 71
4.3.3. Diseño del estudio y muestra..... 73
4.3.3.1. Instrumento y variables 74
4.3.3.2. Procedimiento de recolección y consideraciones éticas 74
4.3.4. Preparación de datos y supuestos..... 74
4.3.4.1. Coeficientes de regresión..... 74
4.3.5. Análisis Comparativo de la Percepción de los Trabajadores (Pre-Post) 76
4.3.5.1. Análisis Descriptivo de las Variables del Modelo 76
4.3.6. Análisis Exploratorio de Datos y Adecuación Muestral. 78
4.3.7. Evaluación del modelo de medición (CFA) 82
4.3.7.1. Especificación del modelo CFA/SEM 82
4.3.7.2. Evaluación de invarianza entre fases..... 84
4.3.7.3. Invarianza de medida 84
4.3.7.4. Análisis parsimonioso complementario con compuestos observados..... 85
4.3.7.5. Congelación de insumos para el modelo estructural..... 87
4.3.7.6. Validez discriminante basada en compuestos..... 88
4.3.7.7. Especificación del modelo parsimonioso de rutas..... 89
4.3.8. Ecuaciones estructurales con interceptos..... 90
4.3.9. Ecuaciones estructurales en forma centrada 91
4.3.10. Varianza explicada (R^2) de las ecuaciones estructurales..... 92
4.3.10.1. Interpretación de los coeficientes estructurales..... 93
4.3.10.2. Discusión comparativa 94
4.3.10.3. Consideraciones finales del modelo estructural 95
4.3.11. Ecuaciones estructurales finales y sus nodos..... 96
4.3.12. Hallazgos en las ecuaciones estructurales..... 98
4.3.13. Análisis final comparativo de la percepción de control de riesgos 99
4.3.14. Evidencia Descriptiva del Cambio en la Percepción 99

4.3.15. Evidencia Inferencial y validación estadística 100
4.3.16. Contraste y Decisión de las Hipótesis Específicas 101
4.4. Transferencia tecnológica del modelo SGPRL 103
4.4.1. Arquitectura general 104
4.4.2. Variables monitoreadas 105
4.4.3. Integración con el ciclo PDCA y la ISO 45001 106
4.4.4. Registro mensual 106
4.4.5. Sistema de semáforo 107
4.4.6. Generación de reportes 107
4.4.7. Aplicación para la toma de decisiones 108
4.4.8. Limitaciones del sistema 109
CONCLUSIONES 109
RECOMENDACIONES 112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riesgos Físicos Críticos Medidos en MENDOGAS 3
Tabla 2. Niveles de Atmósferas Peligrosas Medidas en MENDOGAS 4
Tabla 3. Percepción Inicial de la Gestión de SST por los Trabajadores de MENDOGAS 4
Tabla 4. Identificación de variables 32
Tabla 5. Operacionalización de variables 33
Tabla 6. Matriz de Consistencia 35
Tabla 7. Análisis de datos 42
Tabla 8. Normas de referencia de las variables instrumentales evaluadas. 45
Tabla 9. Instrumentos empleados y variables registradas 47
Tabla 10. Resultados de mediciones en el área de mantenimiento 48
Tabla 11. Resultados de mediciones en el área de descarga 49
Tabla 12. Resultados de mediciones en el área de envasado 50
Tabla 13. Resumen de variables cinemáticas en la flexión del torso 53
Tabla 14. Extracto de la matriz de riesgos (IPER) para MENDOGAS 57
Tabla 15. Indicadores de desempeño definidos para MENDOGAS 59
Tabla 16. EPP entregado por área de trabajo 62
Tabla 17. Cuestionario de Evaluación del Sistema de Gestión de SST 70
Tabla 18. Relaciones entre constructos 72
Tabla 19. Diseño del estudio y muestra 73
Tabla 20. Coeficientes de regresión en el modelo de rutas por fase 75
Tabla 21. Coeficientes de determinación (R^2) del modelo por fase 76
Tabla 22. Estadísticos Descriptivos de las Variables Compuestas (Antes y Después, N=45) 77
Tabla 23. Matriz de correlación inter-ítems y valor del determinante 79
Tabla 24. Medidas de adecuación muestral individual (Diagonal de la matriz anti-imagen) 79
Tabla 25. Pruebas globales de adecuación muestral (KMO y Bartlett) 80
Tabla 26. Varianza total explicada mediante el Análisis de Componentes Principales 81
Tabla 27. Índices de ajuste global del CFA multigrupo (MLR) 83
Tabla 28. Invarianza de medida (configural, métrica, escalar) 85
Tabla 29. Coeficientes de regresión en el modelo de rutas por fase 86
Tabla 30. Coeficientes de determinación (R^2) del modelo por fase 86
Tabla 31. Insumos congelados para el análisis estructural 87
Tabla 32. Dictamen de cumplimiento 88
Tabla 33. Trayectorias especificadas en el modelo parsimonioso 90
Tabla 34. Coeficientes de las ecuaciones estructurales por fase - interceptos 91
Tabla 35. Ecuaciones estructurales en forma centrada por fase 92
Tabla 36. Coeficientes de determinación (R^2) por fase 92
Tabla 37. Ecuaciones estructurales por fase (con interceptos) 97
Tabla 38. Ecuaciones estructurales por fase (centradas, sin interceptos) 97
Tabla 39. Comparación de Promedios de Percepción de Control de Riesgos (Antes y Después) 99
Tabla 40. Resultados de la Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon 101
Tabla 41. Información de las categorías del sistema de semáforo en el dashboard. 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro cinemático de flexión del torso durante el levantamiento de cilindros llenos con postura subestándar. 54
Figura 2. Registro cinemático de flexión del torso durante el levantamiento de cilindros llenos aplicando técnica ergonómica segura. 55
Figura 3. Reglamento interno de Seguridad y Salud Ocupacional MENDOGAS - Riobamba 59
Figura 4. Socialización formativa 61
Figura 5. Socialización de importancia del uso de EPP 62
Figura 6. Señalizaciones en planta 63
Figura 7. Entrevista a trabajadores para retroalimentación 65
Figura 8. Charla sobre reglamento interno 66
Figura 9. Gráfico de Estadísticos Descriptivos de las Variables Compuestas. 77
Figura 10. Gráfico comparativo de medidas de adecuación muestral individual 80
Figura 11. Varianza explicada por los componentes principales 82
Figura 12. SEM – Modelo Parsimonioso “Antes” 96
Figura 13. SEM – Modelo Parsimonioso “Después” 96
Figura 14. Comparación Visual de la Percepción de Control de Riesgos 100
Figura 15. Secuencia del Dashboard 105

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de los riesgos laborales no controlados en la industria de envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador, destacando la necesidad de modelos de gestión integrales y validados empíricamente. El objetivo central fue diseñar, implementar y evaluar un modelo de gestión de riesgos laborales, basado en el ciclo PDCA e ISO 45001, para mejorar el control de riesgos y el desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la planta envasadora MENDOGAS. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, con un diseño cuasi-experimental Pre-Post sobre un censo de 45 trabajadores. Se empleó una estrategia de seguimiento de datos que incluyó: mediciones instrumentales (ruido, gases, partículas), encuestas de percepción analizadas con un modelo de ecuaciones estructurales (SEM) parsimonioso, y análisis estadístico para validación de datos. Como resultado del diagnóstico inicial, se evidenciaron condiciones críticas como niveles de ruido de hasta 98.4 dB(A) y concentraciones de $PM_{2.5}$ varias veces superiores a las guías de la OMS. Tras la implementación del modelo, la percepción de control de riesgos mejoró de manera estadísticamente significativa (Prueba de Wilcoxon, $p < .001$), y la puntuación media del Desempeño en SST aumentó de 2.86 a 4.00 en una escala de 5 puntos. Adicionalmente, el análisis SEM demostró que la capacidad explicativa del modelo sobre el desempeño (R^2) se cuadruplicó (de 0.017 a 0.071). Estos resultados evidencian cambios favorables posteriores a la implementación del modelo propuesto para mejorar significativamente el control de los riesgos y el desempeño en SST.

Palabras clave: Gestión de Riesgos Laborales, Gas Licuado de Petróleo (GLP), Modelo PDCA, Ecuaciones Estructurales (SEM), Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

ABSTRACT

This research addresses the issue of uncontrolled occupational risks in the Liquefied Petroleum Gas (LPG) packaging industry in Ecuador, highlighting the need for comprehensive and empirically validated management models. The main objective was to design, implement, and evaluate an occupational risk management model, based on the PDCA cycle and ISO 45001, to improve risk control and Occupational Health and Safety (OHS) performance at the MENDOGAS packaging plant. The research was developed under an applied quantitative approach, with a Pre-Post quasi-experimental design on a census of 45 workers. A data monitoring strategy was employed that included: instrumental measurements (noise, gases, particles), perception surveys analyzed with a parsimonious structural equation model (SEM), and statistical analysis for data validation. As a result of the initial diagnosis, critical conditions were evidenced, such as noise levels of up to 98.4 dB(A) and $PM_{2.5}$ concentrations several times higher than the WHO guidelines. After the implementation of the model, the perception of risk control improved in a statistically significant manner (Wilcoxon test, $p < .001$), and the average score of OHS Performance increased from 2.86 to 4.00 on a 5-point scale. Additionally, the SEM analysis showed that the explanatory capacity of the model on performance (R^2) quadrupled (from 0.017 to 0.071). These results demonstrate favorable changes following the implementation of the proposed model to significantly improve risk control and OHS performance.

Keywords: Occupational Risk Management, Liquefied Petroleum Gas (LPG), PDCA Model, Structural Equation Modeling (SEM), Occupational Health and Safety (OHS).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La industria del Gas Licuado de Petróleo (GLP) constituye un pilar fundamental en la matriz energética del Ecuador, garantizando el abastecimiento de combustible para sectores domésticos, comerciales e industriales. Sin embargo, la manipulación de este hidrocarburo conlleva riesgos operacionales intrínsecos de alta severidad, tales como incendios, explosiones y fugas tóxicas, que pueden generar consecuencias catastróficas tanto para la integridad humana como para el entorno. A pesar de la existencia de un marco normativo riguroso, que incluye regulaciones nacionales y estándares internacionales como la ISO 45001, la realidad operativa de muchas plantas envasadoras evidencia una brecha significativa entre los requisitos documentales y la implementación efectiva de controles en campo.

En este contexto, la presente investigación doctoral aborda la problemática de los riesgos laborales no controlados en la planta envasadora MENDOGAS, ubicada en la ciudad de Riobamba. El diagnóstico inicial de esta instalación reveló condiciones críticas en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros, caracterizadas por niveles de ruido superiores a los límites permisibles, presencia de atmósferas peligrosas y una gestión preventiva insuficiente. Estas deficiencias no solo contravienen la normativa legal vigente, sino que exponen a los trabajadores a peligros inminentes que comprometen su salud y seguridad a largo plazo.

Para hacer frente a esta situación, el estudio se planteó como objetivo central determinar el efecto de la implementación de un Modelo de Gestión de Riesgos Laborales, estructurado bajo el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) y alineado con los requisitos de la norma ISO 45001:2018. La propuesta trasciende el cumplimiento administrativo, integrando dimensiones clave como la gestión del talento humano, la estandarización de procesos operativos y la aplicación rigurosa de controles técnicos de ingeniería. La hipótesis fundamental sostiene que una gestión sistémica y formalizada reduce

significativamente la exposición a peligros y mejora el desempeño global en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Metodológicamente, la investigación adopta un enfoque cuantitativo de alcance explicativo y diseño cuasi-experimental de tipo Pre-Post. Se realizó un censo a la totalidad de los trabajadores de la planta, combinando mediciones instrumentales objetivas (ruido, gases, iluminación) con la evaluación de la percepción del personal mediante encuestas validadas. Para el análisis de los datos, se emplearon técnicas estadísticas avanzadas, incluyendo el Modelamiento de Ecuaciones Estructurales (SEM), lo que permitió explorar empíricamente las relaciones propuestas entre las variables entre la gestión administrativa, la técnica y los resultados de seguridad.

El presente documento se estructura en cuatro capítulos. El Capítulo I detalla el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos del estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y los antecedentes que sustentan la investigación. El Capítulo III establece la metodología empleada, el diseño de la investigación y las técnicas de recolección de datos. El Capítulo IV describe los resultados obtenidos. Finalmente, se presenta las, conclusiones y recomendaciones que derivan del estudio.

1.1. Situación problemática

La gestión de riesgos en la industria del gas licuado de petróleo (GLP) es una prioridad a nivel mundial debido a la alta peligrosidad de sus operaciones. Estudios internacionales demuestran que fallas en los procesos de almacenamiento y envasado pueden generar incendios con radios de afectación superiores a los 200 metros (Anandhan et al., 2019) y, en escenarios de fuga masiva, alcanzar hasta 300 metros con efectos letales (Islam et al., 2025). Para mitigar estos peligros, la literatura científica reciente evidencia una clara tendencia hacia la aplicación de metodologías avanzadas de evaluación de riesgos, como HAZOP y lógica difusa (Oubellouch & Soulhi, 2024), y hacia el fortalecimiento de factores organizacionales como la supervisión de permisos de

trabajo y la capacitación del personal, cuya debilidad incrementa la probabilidad de accidentes mayores (Oueidat et al., 2015).

Este panorama de alto riesgo se refleja en el contexto ecuatoriano. La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) reportó un promedio de 28 incidentes anuales en instalaciones de GLP en el país entre 2020 y 2023, asociados principalmente a fallas operativas (ARCERNNR, 2023, citado en Picon & Solano, 2024). La severidad de estos eventos potenciales fue cuantificada por Morales et al. (2023), quienes modelaron una explosión BLEVE en el terminal de GLP de Monteverde, concluyendo que podría generar tasas de mortalidad superiores al 60% en la zona de impacto inmediato. Asimismo, inspecciones a nivel nacional han revelado falencias críticas en la seguridad de las instalaciones, donde un alto porcentaje de ellas no cuenta con ventilación adecuada (14 de 20), detectores de fugas (18 de 20) o planes de emergencia (17 de 20) (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2019).

Esta problemática nacional se manifiesta de forma concreta en la planta envasadora MENDOGAS ubicada en Riobamba. Un diagnóstico inicial de las condiciones de trabajo realizado antes de la intervención, arrojó evidencia cuantitativa de exposiciones críticas en sus procesos de descarga, envasado y mantenimiento. Las Tablas 1, 2 y 3 resumen los hallazgos de esta línea base.

Tabla 1. Riesgos Físicos Críticos Medidos en MENDOGAS

Agente	Área	Valor Medido	Criterio Normativo	Diagnóstico
Ruido	Mantenimiento	82.5 – 90.8 dB(A)	Nivel de acción: 85 dB(A)	Pico en nivel crítico (>90), riesgo auditivo alto.
Ruido	Envasado	94.5 – 98.4 dB(A)	Nivel crítico: >90 dB(A)	Valores muy elevados, riesgo severo.
Material Particulado ($PM_{2.5}$)	Mantenimiento	268.1 µg/m³	OMS 2021: ≤15 µg/m³	Muy por encima del límite, riesgo respiratorio elevado.

Material Particulado (PM_{10})	Mantenimiento	700 µg/m³	OMS 2021: ≤45 µg/m³	Exceso significativo, riesgo elevado.
Iluminación	Mantenimiento	147.3 – 332.1 lux	Recomendado: 200–500 lux	Una medición insuficiente (147 lux) para tareas de detalle.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Niveles de Atmósferas Peligrosas Medidas en MENDOGAS

Agente	Área(s)	Rango Medido	Criterio Normativo	Diagnóstico
H_2S	Descarga / Envasado	10 – 20 ppm	Alarma ≥10 ppm	Valores en umbral de alarma y techo, riesgo crítico.
CO	Descarga / Envasado	35 – 70 ppm	Límite TWA = 50 ppm	Lecturas en el límite y excediéndolo, exposición peligrosa.
O_2	Descarga / Envasado	19.5% – 23.5%	Rango seguro: 19.5– 23.5%	Valores en los límites inferior (deficiencia) y superior (enriquecimiento), riesgo dual.
LEL	Descarga / Envasado	10% – 20%	Alarma ≥10%	Condiciones de alarma y peligro de inflamabilidad.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Percepción Inicial de la Gestión de SST por los Trabajadores de MENDOGAS

Dimensión de Gestión (Constructo)	Puntuación Media (Escala 1-5)	Interpretación
Riesgo Percibido (RIESGO)	2.71	Percepción de control de riesgos insuficiente.
Gestión Técnica (GTEC)	2.77	Percepción de debilidad en controles técnicos (IPER, etc.).
Desempeño en SST (DSST)	2.86	Percepción de un bajo desempeño general en seguridad.

Fuente: Elaboración Propia

La evidencia cuantitativa expuesta, tanto de mediciones objetivas como de la percepción del personal, demuestra la existencia de una problemática de riesgos no controlados en la planta MENDOGAS, caracterizada por exposiciones que

superan los límites normativos y una débil valoración de la gestión preventiva. Esta situación no solo contraviene la normativa nacional (Decreto Ejecutivo 255, 2024), sino que también representa un riesgo inminente para la salud de los trabajadores y la continuidad operativa de la planta.

Por estas razones, resulta indispensable la intervención mediante un sistema formalizado. En el presente estudio se desarrolla un modelo de gestión de riesgos laborales basado en el ciclo PDCA y la norma ISO 45001, cuyo efecto sobre el control de los riesgos y el desempeño en SST se evalúa de manera científica para solventar las deficiencias documentadas y orientar a la empresa hacia la mejora continua.

1.2. Formulación del problema

Las empresas de GLP en Ecuador operan en entornos de alto riesgo donde el cumplimiento normativo a menudo se limita a lo documental, sin asegurar una implementación operativa efectiva. A pesar de contar con referentes como la ISO 45001 y normativas de la Comunidad Andina, persiste una brecha crítica entre los procedimientos escritos y la realidad en planta.

El problema central radica en la falta de un sistema de gestión articulado que garantice la adopción de controles, la formación del personal y la verificación de resultados. De allí surge la necesidad de investigar: ¿En qué medida la aplicación de una propuesta de un modelo de gestión de riesgos laborales basado en PDCA y alineado con ISO 45001 y la normativa andina/nacional mejora el desempeño en SST (DSST) y reduce la exposición a riesgos en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta MENDOGAS (Riobamba)?

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de la implementación de un modelo de gestión de riesgos laborales sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?
- ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?
- ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST durante las actividades de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

La investigación se justifica teóricamente en la necesidad de fortalecer los marcos conceptuales y normativos aplicados a la gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST) en instalaciones que manipulan GLP. A nivel internacional, la ISO 45001:2018 propone un enfoque basado en riesgos y en la mejora continua, mientras que las Directrices ILO-OSH 2001 subrayan la participación de los trabajadores y el liderazgo organizacional como ejes centrales para prevenir incidentes (ISO, 2018; ILO, 2001). Asimismo, el CCPS (2007) enfatiza la importancia de herramientas como los permisos de trabajo, el análisis de riesgos

de tareas críticas y la investigación de incidentes, que son prácticas indispensables en industrias de alto riesgo como la de GLP.

No obstante, en el contexto ecuatoriano la aplicación de estos lineamientos resulta parcial e insuficiente, y los antecedentes académicos muestran que predominan enfoques tradicionales (matrices IPER, NTP 330) o estudios de tipo descriptivo (Ortiz-Solano et al., 2016). En consecuencia, existe un vacío en el desarrollo de modelos de gestión integrales que no solo incorporen las exigencias normativas, sino que también sean validados estadísticamente mediante técnicas de análisis avanzadas como el modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM). De este modo, la presente investigación aporta al marco teórico al integrar la literatura internacional, regional y nacional en un modelo adaptado al sector de GLP, ofreciendo un referente novedoso para futuras investigaciones en seguridad industrial.

1.3.2. Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica, la tesis busca dar respuesta a una problemática recurrente en las plantas de envasado de GLP del Ecuador: la alta exposición a riesgos críticos en procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros. Estudios realizados en el país evidencian que estas actividades concentran los mayores niveles de riesgo por fugas, explosiones, exposición a ruido y sobrecarga ergonómica (Silva, 2019). La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR, 2023) reporta que entre 2020 y 2023 ocurrieron en promedio 28 incidentes anuales en instalaciones de GLP, principalmente asociados a fallas en el mantenimiento preventivo y a la ausencia de procedimientos estandarizados.

En este sentido, la propuesta de un modelo de gestión de riesgos laborales adaptado a la planta MENDOGAS permitirá estandarizar procedimientos, fortalecer la capacitación del personal, mejorar la vigilancia técnica de los equipos y establecer indicadores claros de desempeño en SST. En la práctica, la implementación de este modelo no solo contribuirá a reducir la frecuencia y severidad de incidentes, sino que también asegurará la continuidad de las operaciones y la confianza de la comunidad y las autoridades en la empresa. De

este modo, el estudio aporta una solución concreta y transferible a otras plantas de GLP en el país y en la región andina.

1.3.3. Justificación metodológica

La investigación se justifica metodológicamente por la incorporación de un enfoque cuantitativo con triangulación de técnicas y fuentes de información que integra la percepción de los trabajadores, las mediciones instrumentales en campo y el cumplimiento de requisitos normativos. A diferencia de los antecedentes nacionales, que han privilegiado aproximaciones descriptivas y matrices tradicionales de evaluación de riesgos (Ortiz-Solano et al., 2016), este estudio adopta un diseño cuasi-experimental pre–post, con un censo de 45 trabajadores, lo que permitió incluir a la totalidad de la población interna de MENDOGAS.

Además, se recurre al modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM), técnica estadística avanzada que permite validar simultáneamente constructos latentes y relaciones causales entre variables como la gestión administrativa, el talento humano, los procesos operativos, la gestión técnica y el desempeño en SST (Hair et al., 2019) . Esta aproximación supera las limitaciones de métodos convencionales al ofrecer una evaluación integral, parsimoniosa y con mayor poder explicativo. La combinación de fuentes contribuyó a complementar la interpretación, sin garantizar por sí sola la validez externa..

1.3.4. Justificación social

Desde el punto de vista social la investigación contribuye a la protección de la vida y la salud de los trabajadores de la planta envasadora MENDOGAS, quienes diariamente están expuestos a riesgos de explosiones, fugas de gas, sobrecarga ergonómica y exposición a ruido. La Organización Internacional del Trabajo (ILO, 2001) señala que garantizar condiciones seguras no solo reduce accidentes sino que mejora el bienestar la motivación y la productividad de los trabajadores.

Asimismo, en un sector estratégico como el GLP, la gestión inadecuada de riesgos no afecta únicamente a los colaboradores, sino también a las

comunidades cercanas y a la continuidad del suministro energético. Estudios como el de Morales et al. (2023), que evaluaron el potencial de explosiones BLEVE en el terminal de Monteverde, muestran que un evento mayor podría comprometer gravemente la seguridad de la población y el medio ambiente.

En este sentido, la implementación de un modelo de gestión de riesgos laborales constituye una herramienta que trasciende el ámbito organizacional, pues aporta al cumplimiento de derechos laborales, fortalece la confianza de la sociedad en las empresas energéticas y promueve una cultura preventiva en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3 y ODS 8) de la Agenda 2030.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Determinar el efecto de la implementación del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.

- Analizar el efecto del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.

- Determinar el efecto del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

La investigación en Ecuador sobre la gestión de riesgos laborales ha proporcionado evidencia cuantitativa sobre la prevalencia de peligros en diversos sectores y, de manera crucial, ha validado estadísticamente el impacto positivo de la implementación de sistemas de gestión formalizados. Un estudio fundamental que demuestra la eficacia de estas intervenciones fue el realizado por Villacrés et al. (2019), cuyo objetivo fue evaluar la implementación de un Sistema de Gestión de Prevención de Riesgos en una industria láctea en Riobamba. La metodología, de tipo Pre-Post, empleó la matriz del Sistema de Auditoría de Riesgos del Trabajo (SART) y la prueba no paramétrica de Wilcoxon para validar los resultados. La investigación arrojó una mejora contundente: el índice de eficacia del sistema de gestión aumentó de un 53.29%, calificado como insatisfactorio, a un 93.52%, calificado como satisfactorio. De manera aún más relevante, el índice de frecuencia de accidentes se redujo drásticamente de 18.54 a 3.3, una diferencia que resultó ser estadísticamente significativa ($p = 0.026$). Este antecedente es un pilar para la presente tesis, ya que proporciona evidencia empírica, local (Riobamba) y estadísticamente validada de que un modelo de gestión tiene un impacto directo y medible en la reducción de la siniestralidad.

En el sector específico del GLP, las investigaciones han utilizado diversas metodologías para identificar peligros. Picon Vizñay y Solano Peláez (2024) aplicaron la matriz de riesgos NTP 330 para evaluar los riesgos en el proceso de descarga de GLP en una planta industrial en Cuenca. Su estudio descriptivo y transversal encontró que el 65% de los trabajadores reportaba molestias músculo-esqueléticas y que el nivel de riesgo en las operaciones de trasiego fue calificado como “intolerable”. De forma complementaria, Ortiz-Solano et al. (2016) emplearon un modelo matemático de correlación y regresión en plantas de envasado en Esmeraldas y Shushufindi. Sus resultados identificaron los riesgos psicosociales (derivados del alto nivel de atención requerido, con una

correlación de r = 0.88) y los ergonómicos (postura de pie prolongada, r = 0.82) como los más significativos, concluyendo que estos modelos facilitan la priorización de variables críticas. Ambos estudios son pertinentes porque, además de cuantificar los riesgos, evidencian las limitaciones de los enfoques tradicionales para analizar las interacciones complejas de un sistema, justificando la necesidad de una metodología más avanzada como el SEM.

La falta de estandarización documental ha sido identificada como una causa raíz de incidentes. En su tesis de grado, Silva (2019) tuvo como propósito elaborar un manual de procedimientos para una planta envasadora de GLP que carecía de ellos. La investigación, de carácter aplicado y basada en observación directa y entrevistas, concluyó que la ausencia de procedimientos documentados era una causa directa de accidentes, ya que el personal aprendía las tareas de manera informal y por rotación, sin un soporte técnico estandarizado. Este antecedente refuerza la justificación práctica de la presente tesis, cuyo modelo de gestión busca formalizar y estandarizar las operaciones críticas de descarga, envasado y mantenimiento.

En complemento, un estudio local realizado por Cóndor y Yuquilema (2025) en una entidad pública de Riobamba, aunque no en el sector GLP, es relevante por su metodología y sus hallazgos contextuales. La investigación, de tipo cuantitativa-descriptiva, combinó la matriz NTP 330 con mediciones instrumentales (ruido, ISO 9612) y cuestionarios de percepción. Los resultados indicaron que el 58% de los empleados de la entidad estaban expuestos a niveles de riesgo medio o alto, siendo el ruido ambiental y la carga postural los factores predominantes. La pertinencia de este antecedente radica en que valida el enfoque metodológico de triangulación de datos (matriz, instrumentos, percepción) adoptado en esta tesis y, además, aporta datos sobre la prevalencia de riesgos laborales en la misma ciudad de Riobamba.

La cuantificación de riesgos catastróficos en el sector fue abordada de manera contundente por Morales et al. (2023) cuyo objetivo fue modelar el riesgo de una explosión por expansión súbita del vapor de líquido hirviendo (BLEVE) en el terminal de GLP de Monteverde. La investigación de tipo experimental-

simulativo, empleó el software ALOHA y el método Probit para analizar escenarios de fuga masiva. Los resultados demostraron que un evento de esta naturaleza generaría una "zona roja" o de alta influencia con un radio de 2000 metros dentro de la cual la tasa de mortalidad se estima en un 99.9%. Se concluyó que el almacenamiento de GLP a gran escala constituye un riesgo mayor que demanda la implementación de rigurosas medidas de control. Este antecedente es fundamental pues establece la magnitud del peor escenario posible reforzando la urgencia de una gestión preventiva eficaz a nivel de planta.

Desde una perspectiva operativa Venegas Vásconez y Ayabaca Sarria (2019) analizaron las falencias en el almacenamiento y la seguridad en sistemas de GLP a nivel nacional. Su estudio técnico-descriptivo incluyó la inspección de 20 instalaciones comerciales e industriales, revelando fallas críticas de seguridad: el 70% (14 de 20) de los sitios carecía de ventilación adecuada, el 90% (18 de 20) no contaba con detectores de fugas, y el 85% (17 de 20) no disponía de planes de emergencia. El estudio de Venegas Vásconez (2018) complementa estos hallazgos, reportando que, de 49 instalaciones comerciales en mal estado el 51% estaban rodeadas de elementos combustibles y el 53% tenían accesorios en condiciones deficientes. Ambos trabajos concluyen que los sistemas de gestión son incipientes, lo que justifica la necesidad de un modelo que estandarice las prácticas de seguridad.

La brecha en la formalización de la gestión fue cuantificada en el artículo de Martínez Pérez et al. (2026), quien, a través de análisis documental y encuestas a personal técnico, encontró que más del 40% de las empresas del sector GLP en Ecuador no contaban con un sistema de gestión certificado ni con auditorías internas regulares, evidenciando una dependencia de prácticas informales para el control de riesgos. Este antecedente es crucial, pues demuestra que la falta de un modelo de gestión integral y validado, como el que se propone en esta tesis, es una debilidad sistémica en la industria ecuatoriana.

El Reglamento de Higiene y Seguridad de EP Petroecuador (2021), aunque no es un estudio, se establece como el antecedente normativo más relevante del sector hidrocarburífero nacional. El documento detalla lineamientos obligatorios

en materia de gestión de riesgos, integridad de equipos, control de fuentes de ignición, procedimientos para trabajos de alto riesgo y entrenamiento periódico del personal. Su existencia sirve como un referente de las buenas prácticas y del nivel de formalidad que un modelo de gestión adaptado a la planta MENDOGAS debería considerar para alinearse con los estándares del sector energético del país.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

La investigación internacional sobre la gestión de riesgos en la industria de hidrocarburos se ha centrado en la aplicación de metodologías avanzadas para la evaluación de peligros y en la cuantificación de las consecuencias de potenciales accidentes proporcionando una base técnica sólida que resalta la necesidad de sistemas de gestión preventivos. Un enfoque metodológico innovador fue presentado por Oubellouch y Soulhi (2024) quienes desarrollaron un modelo para la evaluación de riesgos en la industria de llenado de GLP en Marruecos, combinando la metodología HAZOP (Análisis de Peligros y Operabilidad) con lógica difusa. Su investigación de tipo aplicada y con enfoque cuantitativo identificó y priorizó los peligros más críticos en los procesos de trasiego y envasado. Los resultados clasificaron las fugas en válvulas y las fallas en los sensores de presión como los escenarios de mayor criticidad con el potencial de derivar en incendios y explosiones. Se concluyó que la integración de la lógica difusa en el análisis HAZOP aumenta la objetividad en la evaluación de riesgos y mejora significativamente la toma de decisiones preventivas en instalaciones de GLP. Este antecedente es relevante porque demuestra la tendencia global hacia el uso de herramientas analíticas robustas para superar las limitaciones de los métodos cualitativos tradicionales lo que refuerza la pertinencia de utilizar un enfoque avanzado como el modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM) en la presente tesis.

En una línea similar, Oueidat et al. (2015) evaluaron los procedimientos de seguridad de una planta de almacenamiento y distribución de GLP en el Medio Oriente utilizando la metodología STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes). El estudio con un enfoque cualitativo-sistémico analizó la

interacción entre los permisos de trabajo los programas de mantenimiento los protocolos de capacitación y los sistemas de control de la planta. Los resultados evidenciaron deficiencias críticas en la supervisión de los permisos de trabajo y en la capacitación de los operadores lo que incrementaba la probabilidad de incidentes mayores durante las operaciones. La conclusión principal fue que la metodología STAMP es eficaz para identificar vulnerabilidades de carácter organizacional que no suelen ser detectadas por los métodos tradicionales de análisis de riesgos. Este antecedente resulta pertinente para esta investigación, ya que valida el empleo de modelos sistémicos y refuerza la necesidad de implementar un modelo de gestión integral que aborde no solo los riesgos técnicos sino también los factores organizacionales.

La modelización de las consecuencias de accidentes ha sido un foco central en la investigación internacional. Un estudio publicado en el International Journal of Mechanical Engineering and Technology (Anandhan et al., 2019) realizó una Evaluación Cuantitativa de Riesgos (QRA) en un área de almacenamiento de GLP. La investigación modeló escenarios como el "Incendio de Charco" (Pool Fire), encontrando que este podía generar una radiación térmica de 38.3 kW/m² a 10 metros de distancia un nivel considerado fatal para exposiciones cortas. El estudio tradujo estos hallazgos técnicos en una conclusión de impacto directo: fallas en válvulas y conexiones podían desencadenar incendios con radios de afectación superiores a los 200 metros, generando consecuencias potencialmente catastróficas para los trabajadores y las comunidades aledañas.

De manera complementaria, Elachi y Ogwuche (2024) llevaron a cabo una revisión sistemática de los principales accidentes en la industria del petróleo y gas a nivel mundial analizando casos emblemáticos como Exxon Valdez Deepwater Horizon y la refinería de Texas City. La investigación identificó patrones comunes en las causas raíz de estos desastres destacando las deficiencias en la cultura de seguridad, las fallas en la supervisión de los procedimientos operativos y las debilidades en los planes de respuesta a emergencias. Los autores concluyeron que la gestión inadecuada de riesgos en esta industria tiene consecuencias devastadoras a nivel humano, ambiental y económico lo que hace indispensable el desarrollo de sistemas de gestión más

integrales. Este artículo es relevante para la presente tesis porque ofrece un panorama global que permite enmarcar la problemática de MENDOGAS dentro de una tendencia internacional de alta severidad.

En complemento, Bakare et al. (2024) propusieron un marco de gobernanza y gestión de riesgos para proyectos en la industria del petróleo y gas, integrando factores técnicos regulatorios y tecnológicos. Su trabajo, de carácter conceptual, se sustentó en una revisión exhaustiva de la literatura incluyendo la aplicación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y los gemelos digitales (digital twins). Los autores concluyeron que un marco robusto de gobernanza reduce los riesgos estratégicos y operativos, mejorando la sostenibilidad de las operaciones. Este antecedente es importante porque conecta la gestión de riesgos a nivel de planta con la gobernanza organizacional mostrando que la complejidad de los riesgos en el sector de hidrocarburos demanda modelos multidimensionales, un enfoque que se busca adaptar en la planta MENDOGAS.

La eficacia de los sistemas de gestión formalizados para reducir la siniestralidad ha sido validada empíricamente. En un estudio sobre la implementación de Sistemas de Gestión de SST (OSHMS) en Indonesia Abidin (2021) encontró una correlación directa entre el nivel de madurez del sistema y la reducción de accidentes. Los resultados mostraron que una empresa con un nivel de implementación auditado del 81.56% logró una disminución significativa en la frecuencia de accidentes laborales mientras que las organizaciones con cumplimiento parcial mantenían tasas elevadas de siniestralidad. Este hallazgo es respaldado por un meta-análisis de Asif et al. (2022) que analizó el rol de la cultura de seguridad en industrias de alto riesgo. La investigación concluyó que las organizaciones con una fuerte cultura preventiva (caracterizada por el liderazgo visible y la alta participación de los trabajadores) presentaban hasta un 40% menos de incidentes reportados en comparación con aquellas con culturas más débiles.

La investigación internacional también aporta datos cuantitativos sobre los riesgos específicos prevalentes en las tareas de la planta MENDOGAS. Islam et al. (2025) por ejemplo utilizaron el software ALOHA para simular fugas de gas

durante el envasado de cilindros de GLP en Bangladesh. Los resultados de la simulación mostraron que una fuga de gran magnitud podía generar un radio de impacto de hasta 300 metros con efectos letales para la población expuesta. De manera similar un estudio sobre riesgos ergonómicos de Zhao et al. (2022), directamente aplicable a la descarga y envasado de cilindros utilizó tecnología de captura de movimiento (MoCap) y el método REBA. Se encontró que más del 70% de los operarios que realizaban manejo manual de materiales presentaban un riesgo alto o muy alto de desarrollar trastornos musculoesqueléticos principalmente en la zona lumbar y las extremidades superiores.

Además la literatura reciente aborda la necesidad de emplear metodologías innovadoras para gestionar la creciente complejidad de los riesgos. Un estudio de Adem et al. (2020) analizó los desafíos de la SST en el marco de la Industria 4.0, aplicando el método Hesitant Fuzzy AHP para priorizar los riesgos. Aunque los peligros tradicionales (físicos químicos) siguen siendo relevantes los resultados indicaron que los riesgos de tipo cognitivo y organizacional como la fatiga mental y la presión psicológica están cobrando una importancia cada vez mayor. Este antecedente, aunque no es específico del GLP es conveniente para la presente tesis porque refuerza la pertinencia de utilizar enfoques de análisis avanzados (como el modelamiento de ecuaciones estructurales) para comprender y gestionar la naturaleza multidimensional de los riesgos laborales en la actualidad.

2.2. Marco Epistemológico

2.2.1. Epistemología

Salcedo (2012) argumenta que la evolución del conocimiento ha transitado desde el saber práctico hacia un "Saber Racional" o episteme, término que posteriormente derivó en lo que hoy conocemos como ciencia, entendida como el estudio riguroso de la realidad. En este sentido, la epistemología se consolida como la rama filosófica que examina los fundamentos, límites y métodos del conocimiento científico.

Ñaupas et al. (2013) y Bunge coinciden en que la epistemología es la reflexión crítica sobre la investigación científica y su producto, el conocimiento. En el contexto de la Ingeniería Industrial y la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), la epistemología no solo busca entender los fenómenos, sino intervenir en ellos para optimizar procesos y salvaguardar la integridad humana.

En el contexto de esta investigación, la epistemología explora cómo se obtiene, valida y objetiva el conocimiento relacionado con la gestión de riesgos laborales en la industria del Gas Licuado de Petróleo (GLP). El enfoque adoptado es netamente positivista, sustentado en la premisa de que la realidad de los riesgos (físicos, químicos y ergonómicos) es externa al investigador y puede ser medida con precisión (Pérez Villamar, 2015).

La construcción del conocimiento en este estudio no se basa en suposiciones subjetivas, sino en la validación empírica. Se asume que el "control de riesgos" y el "desempeño en SST" son fenómenos cuantificables a través de instrumentos calibrados (sonómetros, detectores de gases) y escalas validadas estadísticamente. De esta forma, la epistemología de esta tesis reside en la capacidad de traducir condiciones laborales peligrosas en datos numéricos analizables mediante modelos matemáticos (Ecuaciones Estructurales - SEM), permitiendo confirmar la hipótesis de que un modelo de gestión formalizado (PDCA) tiene un efecto causal y significativo sobre la reducción de la siniestralidad y la mejora del desempeño.

2.2.2. Variable

En el entorno industrial de alto riesgo, como lo es el envasado de hidrocarburos, la capacidad de controlar variables críticas determina la seguridad y continuidad del sistema. Bunge (1980) sugiere que para que un concepto sea científicamente válido, debe ser susceptible de medición y verificación. Se busca, por tanto, identificar características de la operación que sean tanto conceptuales (derivadas de la teoría de la prevención) como empíricas (medibles en la práctica).

El concepto central de este estudio es el Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) y su impacto en el Desempeño en SST (DSST). Epistemológicamente, estas variables se tratan bajo una visión reduccionista y sistémica a la vez: se descomponen en elementos observables para su medición, pero se analizan en conjunto para entender su interacción.

El principio epistemológico que subyace a las variables de este estudio (Gestión Técnica, Riesgo Percibido y Desempeño) se fundamenta en el empirismo lógico. Por ejemplo, el *Riesgo Percibido* no se trata como una opinión etérea, sino que se operacionaliza a través de indicadores medibles que reflejan el nivel de control en tareas específicas (descarga, envasado, mantenimiento). Del mismo modo, la *Gestión Técnica (GTEC)* se objetiva mediante la verificación fáctica de controles de ingeniería y mediciones ambientales (ruido en dB, gases en ppm). La estructura epistemológica de las variables se basa en la correspondencia entre el modelo teórico (basado en ISO 45001 y el ciclo PDCA) y la realidad operativa de la planta MENDOGAS.

2.2.3. Paradigma de investigación y Epistemología Regional

Cabrera-Ramírez y Cepeda-Retana (2022) y Patton (1990) definen el paradigma como el sistema de creencias y premisas que guían la acción del investigador, determinando qué se considera conocimiento válido. Ramos (2015) enfatiza que situarse en un paradigma es esencial para dar coherencia al método científico aplicado.

Esta investigación se adscribe firmemente al paradigma positivista con un enfoque cuantitativo y explicativo. Este paradigma asume que existe una realidad objetiva en la planta envasadora (niveles de ruido - concentración de gases - frecuencia de incidentes) que es independiente de la percepción del observador y que se rige por leyes causales que pueden ser descubiertas y modeladas. El estudio utiliza el método hipotético-deductivo: parte de la teoría normativa (ISO 45001, Normativa Andina) para deducir hipótesis que son contrastadas con datos recogidos en campo mediante un diseño cuasi-experimental.

Desde la perspectiva de la Epistemología Regional, este trabajo se sitúa en el campo de la Ingeniería de Seguridad y Salud Ocupacional. Siguiendo a Bunge (1980), este campo constituye una tecnología (en sentido epistemológico) más que una ciencia pura, pues su fin último no es solo describir el mundo, sino transformarlo y controlarlo de manera racional y eficiente.

La epistemología regional de la Ingeniería Industrial aplicada a la seguridad busca reemplazar la improvisación y la subjetividad por valores objetivos y controlables. En este estudio, esto se manifiesta al sustituir la gestión empírica de riesgos por un modelo basado en datos (Data-Driven Safety). El uso de Modelamiento de Ecuaciones Estructurales (SEM) responde a un reto epistemológico propio de esta región del conocimiento: la necesidad de medir variables latentes (como la "cultura de seguridad" o la "gestión") y cuantificar su impacto real en indicadores físicos y operativos. Así, la investigación valida que la tecnología de gestión (el modelo PDCA) es una herramienta eficaz para controlar los procesos naturales y sociales (el comportamiento humano y los riesgos físicos) dentro de la planta MENDOGAS.

2.3. Bases teóricas

Las bases teóricas de la presente investigación se sustentan en la convergencia de los marcos normativos internacionales sobre seguridad y salud en el trabajo (SST) con la teoría de sistemas y el análisis estructural. El modelo de gestión de riesgos laborales propuesto se concibe como un sistema multidimensional, articulado bajo la lógica del ciclo de mejora continua PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), que es el pilar de la norma ISO 45001:2018.

Este enfoque reconoce que el desempeño en SST no es el resultado de acciones aisladas sino de la interacción sinérgica entre diversos componentes organizacionales. En las siguientes secciones se desarrollará el sustento teórico para cada una de las variables que conforman el modelo: el Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL), con sus dimensiones

constitutivas de Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH) y Procesos Operativos (PO); así como las variables de resultado, incluyendo la Gestión Técnica (GTEC) la Percepción del Riesgo (RIESGO) y el Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST). El objetivo de este capítulo es construir el andamiaje conceptual que justifica la estructura del modelo y las relaciones causales que se validarán empíricamente.

2.3.1. Marco Normativo de la Gestión de SST

El modelo de gestión propuesto en esta tesis se ancla en un robusto marco normativo que establece los requisitos y las buenas prácticas para la prevención de riesgos laborales a nivel internacional, regional y nacional. El principal referente global es la norma ISO 45001:2018, que especifica los requisitos para un sistema de gestión de la SST y proporciona una guía para su uso. Su estructura de alto nivel, basada en el ciclo de mejora continua PDCA, exige a las organizaciones un enfoque proactivo que incluye el liderazgo de la alta dirección, la consulta y participación de los trabajadores, la identificación sistemática de peligros y la evaluación de riesgos y oportunidades (International Organization for Standardization, 2018).

A nivel regional, la Decisión 584 de la Comunidad Andina (CAN) y su reglamento la Resolución 957, constituyen el "Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo" de aplicación obligatoria en los países miembros incluido Ecuador. Esta normativa establece la estructura básica de los sistemas de gestión, enfatizando la obligatoriedad de contar con una política de SST realizar evaluaciones de riesgos (IPER), desarrollar programas de capacitación y planificar la respuesta ante emergencias (Comunidad Andina, 2004, 2005).

Este marco se complementa y se hace operativo en Ecuador a través del Decreto Ejecutivo 255 (2024), que regula la seguridad y salud de los trabajadores en el país. Dicho reglamento dispone la integración de cuatro pilares fundamentales de la prevención: la gestión administrativa, gestión técnica, gestión del talento humano y gestión de procesos operativos (Presidencia de la República del Ecuador, 2024). Es precisamente esta estructura la que sirve de base para la operacionalización de las variables del modelo de gestión de la presente

investigación. La convergencia de estos tres niveles normativos (internacional, regional y nacional) proporciona el sustento legal y técnico para el diseño e implementación del modelo en la planta MENDOGAS.

2.3.2. El Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL)

El Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL), constructo central de este modelo, representa el conjunto interrelacionado de elementos de una organización orientados a establecer políticas, objetivos y procesos para alcanzar dichos objetivos en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). Este enfoque sistémico, que trasciende la simple ejecución de actividades preventivas aisladas, se fundamenta en los marcos normativos más relevantes a nivel internacional y regional. La norma ISO 45001:2018, por ejemplo, define un sistema de gestión como el vehículo para gestionar los riesgos y oportunidades de SST, operando bajo la estructura de alto nivel y el ciclo de mejora continua PDCA (International Organization for Standardization, 2018). De manera similar, las directrices ILO-OSH 2001 de la Organización Internacional del Trabajo enfatizan que el SGPRL debe ser una parte integral de la gestión global de la organización, promoviendo una cultura de prevención proactiva en lugar de reactiva (International Labour Office, 2001).

En el marco conceptual de la presente investigación, el SGPRL se operacionaliza como una variable de segundo orden que integra tres dimensiones fundamentales: la Gestión Administrativa (GA), la Gestión del Talento Humano (GTH) y la Gestión de Procesos Operativos (PO). Esta estructura se justifica en la teoría de que un sistema de gestión eficaz no depende de un solo pilar, sino de la sinergia entre el compromiso directivo (políticas y auditorías), las competencias y la participación del personal (capacitación e investigación de incidentes), y la robustez de las barreras de control en las operaciones diarias (procedimientos y simulacros) (Vinnem, 2007). La eficacia de este enfoque integral ha sido validada empíricamente; estudios como el de Abidin (2021) han demostrado una correlación directa y positiva entre el nivel de madurez e implementación de un sistema de gestión y la reducción significativa de la

frecuencia de accidentes. Por lo tanto, el SGPRL no es solo un requisito normativo, sino que se constituye como la principal variable predictora del desempeño en seguridad y salud de la organización.

2.3.2.1. Gestión Administrativa (GA) y su Rol en la SST

La Gestión Administrativa (GA) constituye el pilar estratégico y estructural del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales. Esta dimensión abarca los elementos de alto nivel que demuestran el compromiso y el liderazgo de la dirección, incluyendo el establecimiento de una política de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) la definición clara de roles y responsabilidades la planificación de auditorías internas y el establecimiento de mecanismos para la mejora continua (International Organization for Standardization, 2018). Su importancia radica en que formaliza la SST como un valor fundamental de la organización proporcionando el marco de gobernanza bajo el cual operan todas las demás actividades preventivas. La norma ISO 45001:2018 sitúa el liderazgo y el compromiso de la alta dirección como el punto de partida indispensable para la eficacia de todo el sistema mientras que las directrices ILO-OSH 2001 enfatizan la necesidad de una política escrita y una estructura organizativa que facilite la consulta y la participación (International Labour Office, 2001).

La ausencia o debilidad de la Gestión Administrativa ha sido identificada como una causa raíz de fallas sistémicas en industrias de alto riesgo. Una revisión de accidentes mayores en el sector de petróleo y gas encontró que las deficiencias organizacionales, incluyendo la falta de supervisión y una cultura de seguridad débil, eran patrones recurrentes en eventos catastróficos (Elachi & Ogwuche, 2024). Este hallazgo se correlaciona con la realidad del sector GLP en Ecuador, donde un estudio reveló que más del 40% de las empresas no contaban con un sistema de gestión certificado ni con auditorías internas regulares, evidenciando una brecha significativa en el componente administrativo de la prevención (Martínez Pérez et al., 2026). Por el contrario, un meta-análisis confirmó que las organizaciones con un liderazgo activo y una comunicación transparente de las políticas de seguridad (ambos componentes clave de la GA) reportaron hasta un 40% menos de incidentes (Asif et al., 2022). En el contexto de este modelo de

investigación, la Gestión Administrativa se establece, por tanto, como la dimensión fundacional que da dirección y soporte a las gestiones del talento humano y de los procesos operativos.

2.3.2.2. La Centralidad de la Gestión del Talento Humano (GTH)

La Gestión del Talento Humano (GTH) representa el componente humano y dinámico del sistema, siendo central para la traducción de las políticas administrativas en prácticas seguras y efectivas. Esta dimensión va más allá de la simple contratación de personal; abarca los procesos de capacitación, el desarrollo de competencias, la consulta y participación de los trabajadores, y la investigación de incidentes para el aprendizaje organizacional (Comunidad Andina, 2004) . La normativa internacional sitúa al trabajador en el núcleo del sistema de gestión, reconociendo que la eficacia de cualquier control técnico o administrativo depende, en última instancia, de la competencia y el compromiso de quienes ejecutan las tareas. Las directrices ILO-OSH 2001, por ejemplo, dedican un apartado completo a la competencia y la formación como requisitos indispensables para asegurar que los trabajadores puedan desempeñar sus responsabilidades de manera segura (International Labour Office, 2001).

La evidencia empírica respalda de manera contundente la centralidad de esta dimensión. Un meta-análisis realizado por Asif et al. (2022) concluyó que la alta participación de los trabajadores en los programas de seguridad es un componente clave de una cultura preventiva robusta, la cual se asocia con una reducción de hasta un 40% en los incidentes reportados. Por el contrario, la deficiencia en la GTH ha sido identificada como un factor causal en accidentes. Un estudio en una planta de GLP encontró que la capacitación deficiente de los operadores incrementaba significativamente la probabilidad de incidentes mayores (Oueidat et al., 2015). Este hallazgo se alinea con la realidad ecuatoriana, donde estudios en plantas de envasado han identificado los riesgos ergonómicos como uno de los más prevalentes, con un 65% de los trabajadores reportando molestias músculo-esqueléticas (Picon Vizñay & Solano Peláez,

2024), lo que subraya la necesidad crítica de programas de capacitación en áreas como la manipulación manual de cargas. En el marco de este modelo, la GTH se concibe, por tanto, como la dimensión que asegura que la organización posea el capital humano con las competencias y la motivación necesarias para ejecutar los procesos operativos de manera segura.

2.3.2.3. Gestión de Procesos Operativos (PO) como Barrera de Control

La Gestión de Procesos Operativos (PO) constituye la dimensión táctica del Sistema de Gestión, donde las políticas administrativas y las competencias del personal se materializan en barreras de control tangibles para mitigar los riesgos en las tareas diarias. Esta dimensión abarca el desarrollo y la aplicación de procedimientos de trabajo seguro, la gestión de permisos de trabajo para actividades de alto riesgo (PTW), la ejecución de simulacros de emergencia y la calibración y mantenimiento de equipos críticos (Sutton, 2015). Su importancia es central en industrias de peligros mayores como la del GLP, donde códigos técnicos como el NFPA 58 especifican controles operacionales estrictos para asegurar la integridad mecánica de los equipos, el control de fuentes de ignición y la seguridad en las operaciones de trasiego y envasado (NFPA, 2024).

La literatura empírica ha demostrado que las fallas en esta dimensión son una causa directa de incidentes. Un estudio en una planta de GLP encontró que la falta de control sistémico en los permisos de trabajo y el mantenimiento preventivo incrementaba la probabilidad de accidentes mayores (Oueidat et al., 2015). Este hallazgo se replica en el contexto ecuatoriano, donde la ausencia de manuales de procedimientos estandarizados en plantas de envasado de GLP ha sido identificada como una causa directa de accidentes (Silva, 2019). Asimismo, investigaciones a nivel nacional han evidenciado una falta de control en la integridad de válvulas y tuberías, generando una alta probabilidad de fugas (Venegas Vásconez & Ayabaca Sarria, 2019). Por lo tanto, en el modelo de esta investigación, la PO se concibe como la barrera de control final que asegura que las operaciones se ejecuten de manera consistente y segura, previniendo las desviaciones que podrían materializar los peligros inherentes al proceso.

2.3.3. La Gestión Técnica (GTEC) como Componente Estructural Clave

La Gestión Técnica (GTEC) representa la aplicación especializada y sistemática de herramientas de ingeniería y análisis para la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales en el lugar de trabajo. Esta dimensión se distingue de la gestión administrativa por su enfoque en la aplicación de metodologías rigurosas como la Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPER), el Análisis de Permisos de Trabajo (PTW) y, fundamentalmente, en la implementación de la jerarquía de controles que prioriza las soluciones de ingeniería sobre las medidas administrativas y el equipo de protección personal (EPP) (International Organization for Standardization, 2018). En el contexto ecuatoriano, el Decreto Ejecutivo 255 (2024) formaliza la obligatoriedad de esta gestión, estableciéndola como el pilar operativo para la mitigación de peligros críticos.

Dentro del modelo teórico de esta investigación, la GTEC se concibe como una variable estructural fundamental. Su función es materializar la estrategia preventiva, evidenciando cómo un Sistema de Gestión robusto (SGPRL) fomenta la aplicación eficaz de controles técnicos para incidir en el desempeño en SST (DSST). La teoría subyacente es que un sistema de gestión bien estructurado (con políticas claras y personal competente) mejora la capacidad de la organización para aplicar eficazmente sus herramientas técnicas (Kline, 2016). Por ejemplo, un buen SGPRL asegura que la matriz IPER no sea un mero documento, sino una herramienta viva que se actualiza y cuyos controles se implementan efectivamente. Investigaciones en el sector GLP en Ecuador han demostrado que, si bien se aplican herramientas como la matriz NTP 330, su enfoque tradicional es limitado para explicar las interrelaciones complejas del sistema (Picon Vizñay & Solano Peláez, 2024). Por lo tanto, la GTEC se postula como el componente operativo que vincula la estrategia de gestión (SGPRL) con los resultados (DSST), y su fortalecimiento es un indicador clave de la madurez y eficacia del sistema en su conjunto.

2.3.4. La Percepción del Riesgo (RIESGO) como Indicador de Cultura Preventiva

La Percepción del Riesgo (RIESGO), dentro del marco de la seguridad y salud ocupacional, se define como la valoración subjetiva que realizan los trabajadores sobre la probabilidad y severidad de los peligros a los que están expuestos, así como sobre la eficacia de las barreras de control existentes en sus tareas críticas (Stolzer, 2015). Esta variable no mide el riesgo objetivo o técnico, sino que actúa como un indicador indirecto de la efectividad de los controles implementados y, de manera más amplia, de la fortaleza de la cultura preventiva de la organización. Una percepción de bajo riesgo (o, más precisamente, de alto control) por parte de los trabajadores sugiere que las políticas de seguridad, la capacitación y los procedimientos operativos han sido comunicados e internalizados eficazmente, generando confianza en el sistema.

La literatura empírica ha validado la importancia de esta dimensión. Un meta-análisis realizado por Asif et al. (2022) encontró que las organizaciones con una cultura de seguridad robusta, donde la comunicación es transparente y la participación de los trabajadores es alta, reportaron hasta un 40% menos de incidentes. Esto sugiere que cuando los trabajadores perciben que la gestión es efectiva y que los riesgos están controlados, sus comportamientos tienden a ser más seguros. Por el contrario, un estudio en una planta de GLP demostró que deficiencias en la supervisión y la capacitación —factores que erosionan la percepción de control— incrementaban la probabilidad de accidentes mayores (Oueidat et al., 2015). En el contexto del presente modelo, la variable RIESGO se postula como una variable de resultado clave, cuyo cambio entre las fases "Antes" y "Después" permite medir el impacto del sistema de gestión no solo en los procesos, sino también en la mentalidad y la confianza del personal.

2.3.5. El Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST) como Variable de Resultado

El Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST) se constituye como la variable de resultado final en el modelo de investigación, representando los

logros medibles y observables de la organización como resultado de la implementación de su sistema de gestión. De acuerdo con la norma ISO 45001:2018, el desempeño es un "resultado medible" que puede estar relacionado con la eficacia de las actividades y procesos para prevenir lesiones y el deterioro de la salud de los trabajadores (International Organization for Standardization, 2018). Este constructo trasciende los indicadores de actividad (ej., número de capacitaciones realizadas) para centrarse en los indicadores de resultado, como la reducción de la frecuencia y severidad de los incidentes, la disminución de los días perdidos por accidentes y el cierre oportuno de no conformidades.

La literatura empírica ha validado consistentemente que un sistema de gestión robusto tiene un impacto directo y positivo en el DSST. Un estudio en Ecuador, por ejemplo, demostró que la implementación de un sistema de gestión formalizado resultó en una reducción estadísticamente significativa del índice de frecuencia de accidentes, pasando de 18.54 a 3.3 ($p = 0.026$) (Villacrés et al., 2019). De manera similar, una investigación en Indonesia encontró una correlación directa entre el nivel de madurez de un sistema de gestión y la disminución significativa en la frecuencia de incidentes laborales (Abidin, 2021).

En el marco de la presente tesis, el DSST se posiciona como la principal variable endógena, cuya varianza se busca explicar a través del efecto combinado del Sistema de Gestión (SGPRL) y la Gestión Técnica (GTEC). Por lo tanto, la medición del cambio en el DSST entre las fases "Antes" y "Después" es el criterio último para validar la eficacia del modelo implementado y dar respuesta a la hipótesis general de la investigación.

2.3.6. Fundamento Metodológico: El Modelamiento de Ecuaciones Estructurales (SEM)

El fundamento metodológico de esta investigación descansa en la aplicación del Modelamiento de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés), una técnica estadística multivariante de segunda generación que permite contrastar empíricamente modelos teóricos complejos. A diferencia de los análisis de regresión múltiple tradicionales, que examinan las relaciones entre variables de manera aislada, el SEM permite probar un conjunto de relaciones de

dependencia de forma simultánea, proporcionando una evaluación integral de todo el modelo teórico (Hair et al., 2019). Su principal fortaleza radica en la capacidad para estimar las relaciones entre constructos latentes (variables no observables directamente, como la "Gestión del Talento Humano" o el "Desempeño en SST") a través de sus indicadores observables (los ítems del cuestionario).

La elección del SEM para esta tesis se justifica por su capacidad para cumplir dos objetivos cruciales de manera conjunta. En primer lugar, permite evaluar la calidad del modelo de medición, examinando la validez y fiabilidad de los constructos y asegurando que los indicadores utilizados miden de forma consistente lo que se proponen medir. En segundo lugar, evalúa el modelo estructural, cuantificando la fuerza y la dirección de las relaciones causales hipotetizadas entre las variables (Kline, 2016). En el contexto de esta investigación, el SEM es la herramienta idónea para validar las relaciones postuladas: el efecto del Sistema de Gestión (SGPRL) sobre la Gestión Técnica (GTEC) y el Riesgo Percibido (RIESGO), y el efecto combinado de estas sobre el Desempeño en SST (DSST).

Dada la naturaleza del estudio (censo, N=45), se reconoció que un modelo completo de variables latentes podría presentar problemas de estabilidad. Por consiguiente, se adoptó un enfoque parsimonioso mediante un análisis de rutas con compuestos observados, una estrategia metodológica robusta recomendada para estas condiciones (Hair et al., 2019). Esta aproximación, si bien simplifica la estructura, mantiene la capacidad del SEM para analizar las interrelaciones del modelo, permitiendo una validación rigurosa de las hipótesis de la investigación. Por lo tanto, el SEM no es solo una herramienta estadística, sino el andamiaje metodológico que permite contrastar la teoría con la evidencia empírica de manera integral y científicamente defendible.

2.4. Glosario

Análisis de riesgos de trabajo (ART)

Metodología sistemática para identificar peligros, evaluar la probabilidad y severidad de los riesgos y definir medidas de control aplicables a tareas críticas. Su finalidad es reducir la exposición de los trabajadores a condiciones inseguras y garantizar la continuidad operativa (ISO, 2018).

Análisis de permisos de trabajo (PTW)

Herramienta de gestión que regula la autorización y supervisión de actividades de alto riesgo (ej. trabajos en espacios confinados, mantenimiento en caliente, tareas con energía). Busca asegurar que las condiciones de seguridad estén verificadas antes de ejecutar la tarea (CAN, 2005).

Ciclo PDCA (Plan–Do–Check–Act)

Modelo de mejora continua aplicado en sistemas de gestión. Comprende cuatro etapas: planificación de objetivos y riesgos, implementación de acciones, verificación de resultados y ajuste para consolidar mejoras. Es la base de la norma ISO 45001:2018 y del enfoque de sistemas de seguridad y salud ocupacional (ISO, 2018).

Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST)

Conjunto de resultados observables relacionados con la reducción de incidentes, disminución de días perdidos, cierre oportuno de hallazgos y cumplimiento de requisitos normativos en materia de SST (Martínez Pérez et al., 2026).

Ecuaciones estructurales (SEM)

Técnica estadística multivariante que permite modelar simultáneamente relaciones de causalidad entre variables observadas y constructos latentes. Su aplicación en SST facilita evaluar la validez de los cuestionarios y la coherencia del modelo teórico (Hair et al., 2019).

Gestión administrativa (GA)

Dimensión del sistema de gestión enfocada en políticas, roles, auditorías internas, cumplimiento legal y mecanismos de mejora continua (ISO, 2018).

Gestión del talento humano (GTH)

Dimensión que abarca capacitación, competencias del personal, participación de trabajadores, investigación de incidentes y cierre de acciones preventivas o correctivas (CAN, 2004).

Gestión técnica (GTEC)

Comprende la aplicación del IPER, actualización de matrices de riesgo, uso de controles de ingeniería y procedimientos de análisis de riesgos en tareas críticas, garantizando medidas preventivas proporcionales a la peligrosidad (Presidencia de la República del Ecuador, 2024).

IPER (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos)

Metodología para registrar y evaluar los riesgos a los que están expuestos los trabajadores, considerando probabilidad, severidad y exposición. Es un requisito normativo en Ecuador y en la normativa andina (CAN, 2004; CAN, 2005).

Modelo de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL)

Enfoque integral que articula gestión administrativa, gestión del talento humano y procesos operativos como pilares que, en conjunto, inciden en la gestión técnica, el riesgo percibido y el desempeño en SST (ISO, 2018; Vinnem, 2007).

Procesos operativos (PO)

Dimensión de la gestión que comprende procedimientos críticos, ejecución de simulacros, calibración de equipos y tiempos de respuesta frente a desviaciones en la operación (Sutton, 2015).

Riesgo percibido (RIESGO)

Percepción de los trabajadores sobre el nivel de control existente en tareas críticas (descarga, envasado y mantenimiento). Este indicador se relaciona con

la cultura preventiva y con la efectividad de los controles implementados (Stolzer, 2015).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis General

El Modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba – Ecuador.

3.2. Hipótesis Específicas

- El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.

- El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.

- El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST durante las actividades de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.

3.3. Identificación de variables

En coherencia con los objetivos de la investigación y con el modelo teórico planteado, las variables se estructuran en tres categorías: independientes dependientes y de control. La variable independiente principal corresponde al modelo del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL)

concebido como un constructo de segundo orden que integra gestión administrativa, gestión del talento humano y procesos operativos.

Las variables dependientes se definen en términos de gestión técnica (GTEC), riesgo percibido (RIESGO) y desempeño en seguridad y salud en el trabajo (DSST) todos ellos indicadores clave para evaluar la efectividad del modelo propuesto. Finalmente, se consideran variables de control asociadas a las características del trabajador (edad, género, experiencia laboral) y a las condiciones propias de la planta (área de trabajo: descarga, envasado y mantenimiento). Estas dimensiones permiten garantizar que los resultados obtenidos reflejen los efectos del modelo de gestión y no factores externos ajenos a la intervención (Hair et al., 2019). La clasificación, definición y dimensiones de cada una de estas variables se presentan detalladamente en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Identificación de variables

Tipo de variable	Nombre	Definición	Dimensiones/Indicadores
Independiente	**Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL)**	Modelo de gestión basado en PDCA que integra políticas, procesos y prácticas preventivas en la planta envasadora de GLP.	- Gestión Administrativa (GA): políticas, roles, auditorías, mejora continua. - Gestión del Talento Humano (GTH): capacitación, competencias, investigación de incidentes. - Procesos Operativos (PO): procedimientos críticos, simulacros, calibración de equipos.
Dependiente 1	**Gestión Técnica (GTEC)**	Capacidad técnica para identificar, evaluar y controlar riesgos mediante IPER, APR/PTW y controles de ingeniería.	- Actualización de IPER. - Aplicación de APR/PTW. - Implementación de controles de ingeniería.

Dependiente 2	**Riesgo percibido (RIESGO)**	Percepción de los trabajadores sobre el nivel de control de los riesgos en descarga, envasado y mantenimiento.	- Riesgos en descarga. - Riesgos en envasado. - Riesgos en mantenimiento.
Dependiente 3	**Desempeño en SST (DSST)**	Resultados observables en seguridad y salud ocupacional tras el desarrollo del modelo.	- Reducción de incidentes. - Días perdidos por accidentes. - Cierre oportuno de hallazgos. - No conformidades mayores.
De control	Características sociodemográficas y laborales	Factores que pueden influir en la percepción o desempeño individual.	- Edad. - Género. - Experiencia laboral. - Área de trabajo (descarga, envasado, mantenimiento).

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Operacionalización

Tabla 5. Operacionalización de variables

N°	Variable	Definición conceptual	Definición operacional
1	**VI: Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL)**	Para la ISO 45001 (2018) y la Decisión Andina 584 (CAN, 2004), un SGPRL es un conjunto de políticas, procesos y prácticas organizadas bajo el ciclo PDCA para controlar riesgos.	Modelo de gestión implementado en MENDOGAS, medido a través de sus tres dimensiones: Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH), Procesos Operativos (PO) **- Indicadores:** Promedios Likert de los ítems GA1-GA3, GTH1-GTH4, PO1-PO4.
2	**VD1 / Variable Estructural: Gestión Técnica (GTEC)**	Según el Decreto Ejecutivo 255 (2024), la gestión técnica aplica metodologías de análisis de riesgos e implementa controles de ingeniería. Componente del	**Medición Perceptual:** A través de la percepción de actualización del IPER, aplicación de APR/PTW y controles de ingeniería. Indicadores: Ítems GT1-GT3 (escala Likert 1–5). **Medición Instrumental:** A través de la evaluación objetiva de condiciones. Indicadores:

		"Control de Riesgos".	Nivel de Ruido (dB(A)), Iluminación (lux).
3	**VD2: Riesgo Percibido (RIESGO)**	Para Stolzer (2015), es la valoración subjetiva de los trabajadores sobre el nivel de control en tareas críticas. Componente del "Control de Riesgos".	**Medición Perceptual:** A través de las respuestas sobre el control en descarga, envasado y mantenimiento. **Indicadores:** Ítems RIESGO1-RIESGO3 (escala Likert 1–5). Medición Instrumental (correlato objetivo): Indicadores: Concentración de H_2S, CO, O_2, %LEL; Concentración de $PM_{2.5}$ y PM_{10}.
4	**VD3: Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST)**	De acuerdo con ISO 45001 (2018), el desempeño en SST se refleja en la reducción de incidentes y no conformidades. Operacionaliza el "Desempeño en SST".	Evaluado a través de la percepción del personal sobre mejoras en incidentes, días perdidos y cumplimiento normativo. Indicadores: Ítems DSST1-DSST4 (escala Likert 1–5).
5	**Variables de control**	Factores contextuales que pueden influir en la percepción de riesgos y desempeño (edad, género, experiencia, área de trabajo).	Se recopilan mediante cuestionario sociodemográfico aplicado a los 45 trabajadores de la planta.

Fuente: Elaboración Propia a partir de ISO (2018), CAN (2004, 2005) y Decreto Ejecutivo 255 (2024).

3.5. Matriz de consistencia

Tabla 6. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicador
PG: ¿Cuál es el efecto de la implementación de un modelo de gestión de riesgos laborales sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?	**OG:** Determinar el efecto de la implementación del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.	**HG:** El Modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba - Ecuador	**VI:** Modelo de Gestión de Riesgos Laborales (Operacionalizado como SGPRL). **VD:** Control de Riesgos y Desempeño en SST.	**Indicadores VI (SGPRL):** GA: Política, roles, auditorías. GTH: Capacitación, competencias, investigación. PO: Procedimientos, simulacros, calibración. **Indicadores VD:** GTEC: IPER, APR/PTW, controles de ingeniería. RIESGO: Percepción de control en descarga, envasado, mantenimiento. DSST: Reducción de incidentes, días perdidos, no conformidades.
PE1: ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?	**OE1:** Evaluar el efecto del modelo de gestión sobre el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.	**HE1:** El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.	**VI:** Modelo de Gestión de Riesgos Laborales (Operacionalizado como SGPRL). **VD:** Control de Riesgos y Desempeño en SST.	**Indicadores Perceptuales (Cuestionario):** Ítems de los constructos GTEC, RIESGO, DSST. **Indicadores Instrumentales (Descarga):** Concentración de H_2S (ppm). Concentración de CO (ppm). Nivel de O_2 (%). Límite Inferior de Explosividad (% LEL).

PE2: ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?	**OE2:** Analizar el efecto del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.	**HE2:** El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.	**VI:** Modelo de Gestión de Riesgos Laborales (Operacionalizado como SGPRL). **VD:** Control de Riesgos y Desempeño en SST.	**Indicadores Perceptuales (Cuestionario):** Ítems de los constructos GTEC, RIESGO, DSST. **Indicadores Instrumentales (Envasado):** Nivel de Ruido (dB(A)). Concentración de H_2S (ppm). Concentración de CO (ppm). Nivel de O_2 (%). Límite Inferior de Explosividad (% LEL).
PE3: ¿Cuál es el efecto de la implementación del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST durante las actividades de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador?	**OE3:** Determinar el efecto del modelo de gestión en el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de la ciudad de Riobamba– Ecuador.	**HE3:** El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST durante las actividades de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS de Riobamba– Ecuador.	**VI:** Modelo de Gestión de Riesgos Laborales (Operacionalizado como SGPRL). **VD:** Control de Riesgos y Desempeño en SST.	**Indicadores Perceptuales (Cuestionario):** Ítems de los constructos GTEC, RIESGO, DSST. **Indicadores Instrumentales (Mantenimiento):** Nivel de Ruido (dB(A)). Concentración de Partículas ($PM_{2.5}$, PM_{10}). Nivel de Iluminación (lux).

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Tipo y diseño de investigación

Enfoque: Cuantitativo

Según Creswell y Creswell (2018), el enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección y el análisis de datos numéricos con el fin de identificar patrones, probar teorías y establecer relaciones de causalidad. Este enfoque permite medir fenómenos observables de manera objetiva y aplicar métodos estadísticos para validar hipótesis. En el presente estudio, se adopta un enfoque cuantitativo porque se busca medir el nivel de riesgos laborales y analizar el efecto de un modelo de gestión en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta MENDOGAS, utilizando encuestas estructuradas, mediciones instrumentales y técnicas estadísticas multivariadas.

Tipo: Aplicada

De acuerdo con Creswell y Creswell (2018), la investigación aplicada se orienta a resolver problemas específicos mediante la aplicación de teorías, modelos y conocimientos previamente establecidos en un contexto real. En este caso, la investigación es de tipo aplicada porque no se limita a describir riesgos, sino que propone y valida un modelo de gestión de riesgos laborales ajustado a la realidad de una planta envasadora de GLP, con el propósito de reducir la frecuencia de incidentes y mejorar la seguridad de los trabajadores.

Nivel de investigación: Explicativo causal

Creswell y Creswell (2018) explican que los estudios explicativos buscan identificar y analizar las relaciones de causa y efecto entre variables, estableciendo cómo una variable influye en otra. En esta investigación, el nivel explicativo causal es pertinente porque se pretende demostrar cómo la implementación de un modelo de gestión de riesgos influye en la disminución de incidentes y en la mejora del desempeño en seguridad y salud en el trabajo. Para ello se emplearán técnicas avanzadas como el análisis factorial confirmatorio

(CFA) y el modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM), que permiten validar empíricamente relaciones de causalidad entre constructos.

Diseño: Cuasi-experimental de tipo pre–post sin grupo control

Según Creswell y Creswell (2018), los diseños cuasi-experimentales son aquellos en los que el investigador manipula una variable independiente (en este caso, la aplicación del modelo de gestión de riesgos) para observar sus efectos sobre una o más variables dependientes, pero sin contar con un grupo control paralelo. En esta investigación, se adoptó un diseño pre–post, ya que se consideró fundamental que todos los trabajadores de la planta MENDOGAS recibieran la intervención para asegurar su protección y equidad en las condiciones laborales. Este diseño es adecuado para este contexto porque permite evaluar el impacto del modelo en todos los trabajadores de manera integral, sin excluir a ninguno de ellos, garantizando que se cumpla con las normas de seguridad y salud laboral, mientras se monitorean los cambios antes y después de la implementación del modelo.

3.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por cada trabajador de la planta envasadora de GLP MENDOGAS, considerando tanto sus percepciones sobre la gestión de seguridad y salud en el trabajo como sus condiciones de exposición en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros.

3.8. Población de estudio

La población de estudio correspondió a los 45 trabajadores de la planta MENDOGAS en Riobamba (Ecuador). Debido al tamaño reducido de la organización, se incluyó a la totalidad de trabajadores, lo que permitió realizar un censo completo sin necesidad de aplicar técnicas muestrales probabilísticas.

3.9. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra fue equivalente a la población total de trabajadores de la empresa, es decir, 45 participantes. Este número permitió aplicar cuestionarios estructurados en ambas fases del estudio (Antes y Después), complementados con mediciones instrumentales de ruido, gases, iluminación y material particulado en las áreas críticas de trabajo.

3.10. Selección de la muestra

La selección de la muestra se realizó bajo la modalidad de censo, incorporando a todos los trabajadores de la planta. La decisión respondió a la necesidad de maximizar la potencia estadística en un contexto organizacional pequeño y de garantizar que los resultados reflejen la realidad completa de la empresa. De esta manera, no se excluyó a ningún trabajador, asegurando representatividad total en el estudio.

3.11. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante una estrategia **mixta**, que combinó técnicas de carácter perceptual, técnico-instrumental y documental, con el fin de garantizar la validez y la confiabilidad de los hallazgos.

1. **Encuesta estructurada tipo Likert**

   - Se diseñó un **cuestionario estructurado** compuesto por ítems en escala Likert de 5 puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo), organizados en seis dimensiones:

     - **Gestión Administrativa (GA):** política de SST, roles, auditorías internas.
     - **Gestión del Talento Humano (GTH):** capacitación, competencias, investigación de incidentes.
     - **Procesos Operativos (PO):** procedimientos críticos, simulacros, calibración de equipos.
     - **Gestión Técnica (GTEC):** actualización del IPER, aplicación de APR/PTW, controles de ingeniería.

- **Riesgo Percibido (RIESGO):** control de riesgos en descarga, envasado y mantenimiento.
- **Desempeño en SST (DSST):** reducción de incidentes, días perdidos, hallazgos y no conformidades.

- El cuestionario fue aplicado en dos fases: **Antes** y **Después** de la implementación del modelo de gestión, de forma autoadministrada y anónima, con consentimiento informado.

2. **Mediciones instrumentales**

   Con el fin de complementar la percepción de los trabajadores, se aplicaron **mediciones objetivas en campo** en las tres áreas críticas de la planta (descarga, envasado y mantenimiento), utilizando instrumentos certificados:

   - **Ruido (dB(A)):** sonómetro digital calibrado siguiendo ISO 9612:2009 y OSHA 29 CFR 1910.95.
   - **Iluminación (lux):** luxómetro digital conforme a ISO 8995-1:2002 y NTE INEN 2249.
   - **Material particulado (µg/m³):** Aerocet 831 con referencia a OMS (2021) y NIOSH (2018).
   - **Atmósfera gaseosa (ppm, %):** multigas detector MicroClip XL para H_2S, CO, O_2 y LEL conforme a OSHA 29 CFR 1910.146 y NIOSH Pocket Guide.

     Estas mediciones permitieron establecer una **línea base técnica "Antes"**, que fue contrastada con la percepción de los trabajadores y con las acciones implementadas en la fase de mejora propuesta.

3. **Revisión documental**

   Se analizaron fuentes secundarias internas y externas, entre ellas:

   - Normativa nacional (Decreto Ejecutivo 255, 2024).
   - Normativa internacional (ISO 45001:2018; Decisión 584 y Resolución 957 de la CAN).

- Documentos internos de la empresa: reglamentos, IPER, registros de capacitaciones, auditorías internas y reportes de incidentes.

4. **Entrevistas de retroalimentación**
   Al finalizar la fase de propuesta del sistema, se realizaron entrevistas breves a trabajadores de las áreas críticas, con el fin de captar **testimonios cualitativos** respecto a la percepción de mejoras en las condiciones de trabajo, uso de equipos de protección personal y efectividad de la capacitación recibida.

3.12. Análisis e interpretación de la información

El análisis de la información se estructuró en tres niveles complementarios:

1. **Análisis descriptivo**

   Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana), dispersión (desviación estándar) y distribución (asimetría, curtosis) de los indicadores recogidos en el cuestionario tipo Likert. De igual manera, se elaboraron tablas de frecuencias y gráficos comparativos para las fases “Antes” y “Después” de la implementación del modelo.

2. **Verificación de supuestos estadísticos**

   Se evaluó la normalidad univariada y multivariada de los ítems, así como la presencia de valores atípicos mediante la distancia de Mahalanobis. Dado que se identificaron desviaciones respecto de la normalidad, se optó por aplicar un estimador robusto (MLR) con manejo de datos faltantes mediante FIML, complementado con análisis de sensibilidad bajo el estimador WLSMV para tratar los ítems como ordinales.

3. **Análisis factorial confirmatorio (CFA) y modelamiento estructural (SEM)**

- Se validó el modelo de medición a través de un CFA multigrupo (Antes vs. Después), evaluando índices de ajuste (χ^2 escalado, CFI, TLI, RMSEA, SRMR).
- Ante la ausencia de invarianza métrica y escalar completa, se privilegió un enfoque parsimonioso con compuestos observados (promedios por dimensión), lo que permitió estimar relaciones coherentes con la teoría: SGPRL → GTEC, SGPRL → RIESGO, SGPRL/GTEC → DSST.
- Se reportaron coeficientes estandarizados (β), coeficientes de determinación (R^2) e intervalos de confianza bootstrap para evaluar la significancia y estabilidad de los parámetros.

4. Triangulación de resultados

Los hallazgos del SEM se contrastaron con las mediciones instrumentales (ruido, iluminación, material particulado y gases) y con los indicadores de gestión definidos en el ciclo PDCA. Esta triangulación permitió validar la pertinencia del modelo, reforzando la interpretación de que la implementación del SGPRL produjo mejoras objetivas en las condiciones de trabajo y en la percepción del personal. El resumen de las variables, indicadores y estadísticos aplicados se detalla en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Análisis de datos

Variable	Indicador	Escala de medición	Estadístico aplicado
SGPRL (VI)	Promedio de GA, GTH y PO	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, CFA, SEM
Gestión Administrativa (GA)	Política difundida, roles claros, auditorías internas	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, frecuencias
Gestión del Talento Humano (GTH)	Capacitación, competencias, investigación de incidentes, cierre de acciones	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, CFA
Procesos Operativos (PO)	Procedimientos, simulacros, calibración, tiempos de respuesta	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, CFA

Gestión Técnica (GTEC, VD1)	IPER actualizado, APR/PTW aplicados, controles de ingeniería	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, SEM
Riesgo percibido (RIESGO, VD2)	Riesgos controlados en descarga, envasado y mantenimiento	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, SEM
Desempeño en SST (DSST, VD3)	Reducción de incidentes, días perdidos, hallazgos, no conformidades	Ordinal (Likert 1–5)	Media, DE, SEM
Mediciones instrumentales	Ruido (dB), Iluminación (lux), Partículas (µg/m³), Gases (ppm, %)	Escala de razón	Promedios, comparación normativa
Variables de control	Edad, género, experiencia, área de trabajo	Nominal/ordinal	Frecuencias, tablas cruzadas

Fuente: Elaboración Propia a partir de ISO (2018), CAN (2004, 2005), Decreto Ejecutivo 255 (2024), Hair et al. (2019), Kline (2016)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de la implementación del modelo de gestión en la planta MENDOGAS. La exposición de los hallazgos sigue una secuencia lógica: en primer lugar, se presenta el diagnóstico objetivo de la línea base a través de la evaluación instrumental de las condiciones de trabajo; en segundo lugar, se detallan las acciones implementadas en el marco del ciclo PDCA; y, finalmente, se presenta el análisis comparativo Pre-Post de la percepción de los trabajadores y la validación de las hipótesis de la investigación.

4.1. Evaluación instrumental de condiciones de trabajo

Para establecer un punto de partida objetivo y cuantificar los riesgos existentes en la planta antes de la intervención se realizó una evaluación de las condiciones de trabajo en las áreas críticas de descarga envasado y mantenimiento. Se utilizaron instrumentos especializados para medir la exposición a ruido, material particulado iluminación y atmósferas peligrosas. Estos datos constituyen la línea base técnica contra la cual se evalúa la pertinencia y el impacto del modelo de gestión implementado.

Este tipo de evaluaciones instrumentales se fundamenta en las disposiciones normativas nacionales e internacionales que establecen límites permisibles de exposición a agentes físicos, químicos y ambientales. En particular, se consideraron las directrices de la ISO 9612:2009 y la OSHA 29 CFR 1910.95 para el ruido ocupacional; la ISO 8995-1:2002 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2249 para iluminación; las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) y la NIOSH (2018) para material particulado; y las disposiciones de la OSHA 29 CFR 1910.146 y la NIOSH Pocket Guide para gases tóxicos e inflamables. Estas referencias proporcionan el marco para interpretar los resultados de campo y establecer comparaciones entre las condiciones medidas y los límites recomendados para preservar la salud y seguridad de los trabajadores.

Las mediciones se realizaron en tres áreas críticas del proceso productivo: mantenimiento, descarga y envasado. La selección de estas áreas respondió a

su carácter de alto riesgo dentro de la cadena operativa de la planta, debido a la exposición directa a cilindros de GLP, la presencia de fuentes de emisión de contaminantes físicos y químicos, y la necesidad de manipulación manual de cargas.

La estrategia metodológica se centró en registrar las condiciones iniciales de exposición como línea base, para posteriormente evaluar las mejoras a través de la percepción de los trabajadores y los indicadores de gestión derivados del ciclo PDCA. A continuación, la Tabla 8 presenta las normas de referencia utilizadas para dichas variables.

Tabla 8. Normas de referencia de las variables instrumentales evaluadas.

Variable	Instrumento utilizado	Norma de referencia	Límite/criterio de comparación
Ruido (dB(A))	Sonómetro calibrado (SOUND LEVEL METER)	ISO 9612:2009; OSHA 29 CFR 1910.95	Nivel de acción: 85 dB(A); Límite crítico: 90 dB(A)
Iluminación (lux)	Luxómetro digital	ISO 8995-1:2002; NTE INEN 2249	Tareas generales: 200–300 lux; detalle: 300–500 lux
Material particulado (µg/m³)	Aerocet 831 – Aerosol Mass Monitor	OMS 2021; NIOSH 2018	$PM_{2.5}$: ≤15 µg/m³ (24h); PM_{10}: ≤45 µg/m³ (24h)
Atmósfera gaseosa (ppm; %)	Gas Alert MicroClip XL (H_2S, CO, O_2, LEL)	NIOSH Pocket Guide; OSHA 29 CFR 1910.146	H_2S ≤10 ppm (alarma); CO ≤35 ppm TWA; O_2 entre 19.5–23.5%; LEL ≤10%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. Metodología de medición

La evaluación instrumental de las condiciones de trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la planta envasadora MENDOGAS, específicamente en las áreas de mantenimiento, descarga y envasado de cilindros de GLP, seleccionadas por su carácter crítico dentro de la operación y por concentrar la mayor exposición a riesgos físicos, químicos y ambientales.

Las mediciones se realizaron siguiendo protocolos técnicos de muestreo establecidos en normas internacionales y en guías de organismos de referencia (ISO, NIOSH, OSHA). En cada área se definieron puntos de muestreo estratégicos, considerando cercanía a la fuente emisora, permanencia de los trabajadores en el área y representatividad de la actividad desarrollada.

- **Procedimiento general**

1. **Calibración y verificación inicial de equipos**: El profesional a cargo de la medición verifica que todos los equipos a utilizar estén en condiciones óptimas.
2. **Número de mediciones**: en cada área se tomaron entre 2 y 4 lecturas por variable, en distintos momentos de la operación, con el fin de obtener un valor representativo del rango de exposición.
3. **Registro de condiciones ambientales**: se documentó temperatura, humedad relativa y condiciones de ventilación al momento de la medición, para contextualizar los resultados.
4. **Comparación normativa**: los valores obtenidos fueron contrastados con límites de referencia establecidos en normativas nacionales e internacionales.

El equipamiento técnico empleado para la ejecución de estas mediciones, así como su relación con las variables y protocolos específicos por área, se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Instrumentos empleados y variables registradas

Instrumento	Variables medidas	Área(s) de aplicación	Protocolo de referencia
Sound Level Meter (sonómetro digital, ponderación A, respuesta lenta)	Nivel de ruido (dB(A))	Mantenimiento, Envasado	ISO 9612:2009; OSHA 29 CFR 1910.95
Aerocet 831 – Aerosol Mass Monitor	$PM_{2.5}$ (µg/m³), PM_{10} (µg/m³)	Mantenimiento	OMS 2021; NIOSH 2018
Luxómetro digital	Iluminancia (lux)	Mantenimiento	ISO 8995-1:2002; NTE INEN 2249
Gas Alert MicroClip XL – Multigas detector	H_2S (ppm), CO (ppm), O_2 (%), LEL (%)	Descarga, Envasado	NIOSH Pocket Guide; OSHA 29 CFR 1910.146

Fuente: Elaboración Propia

- **Justificación de selección de áreas**

  - **Mantenimiento**: exposición a ruido de equipos, polvo y partículas metálicas, iluminación variable según la zona de trabajo.
  - **Descarga**: riesgo de atmósferas peligrosas por fugas de GLP y presencia de gases tóxicos.
  - **Envasado**: concentración elevada de ruido por maquinarias de compresión y riesgo de acumulación de gases inflamables.

En conjunto, la metodología adoptada permitió establecer una línea base objetiva de las condiciones de trabajo en las tres áreas críticas de la planta, complementando la percepción de los trabajadores y los resultados obtenidos en el análisis de ecuaciones estructurales presentadas más adelante.

4.1.2. Resultados por área

Los resultados instrumentales obtenidos en las tres áreas críticas de la planta (mantenimiento, descarga y envasado) se presentan a continuación en la Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12. Los valores fueron contrastados con los límites permisibles establecidos en normas internacionales y nacionales, tal como se describió en la metodología. Con este análisis se busca identificar las condiciones subestándares que prevalecían en la planta antes de la implementación del modelo de gestión, constituyendo la línea base sobre la cual se plantearon las acciones correctivas posteriores.

4.1.2.1. Área de Mantenimiento

Tabla 10. Resultados de mediciones en el área de mantenimiento

Variable	Valores medidos	Criterio normativo	Diagnóstico
Ruido (dB(A))	82.5 – 90.8	Acción ≥85; Crítico >90	Una lectura dentro de nivel de acción (≥85) y otra en nivel crítico (>90) → Riesgo auditivo alto
$PM_{2.5}$ (µg/m³)	268.1	OMS 2021: ≤15 (24h)	Muy por encima del límite → Riesgo elevado para vías respiratorias
PM_{10} (µg/m³)	700	OMS 2021: ≤45 (24h)	Exceso significativo → Riesgo elevado
Iluminancia (lux)	147.3 – 332.1	Recomendado: 200–500	Una medición insuficiente (147), otra dentro del rango (332) → Condiciones heterogéneas

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: El área de mantenimiento presentó ruido elevado, con valores por encima del nivel de acción y un pico en nivel crítico. Los valores de $PM_{2.5}$ y PM_{10} superaron ampliamente las guías de referencia, lo que evidencia deficiencias en ventilación y control de partículas. La iluminación resultó inadecuada en uno de los puntos (147 lux), comprometiendo tareas de detalle y precisión.

4.1.2.2. Área de Descarga

Tabla 11. Resultados de mediciones en el área de descarga

Variable	Lectura 1	Lectura 2	Criterio normativo	Diagnóstico
H_2S (ppm)	10	20	Alarma ≥10; Techo = 20	Lectura 1 en umbral de alarma; Lectura 2 en valor techo → Riesgo crítico
CO (ppm)	35	70	Límite OSHA TWA = 50	Lectura 1 en límite; Lectura 2 excede → Exposición peligrosa
O_2 (%)	19.5	23.5	Aceptable: 19.5–23.5	Límite inferior (deficiencia) y límite superior (enriquecida) → Riesgo dual
LEL (%)	10	20	Alarma ≥10; Peligro ≥20	Lectura 1 en alarma; Lectura 2 en condición peligrosa

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: El área de descarga mostró condiciones de atmósfera insegura. Se alcanzaron valores de H_2S en techo (20 ppm) y de CO superiores al TWA. La concentración de oxígeno presentó valores en ambos extremos aceptables (deficiencia 19.5% y enriquecimiento 23.5%), lo que genera riesgos de asfixia o

incendio. Los niveles de LEL confirmaron condiciones de alarma y peligro (20%), comprometiendo la seguridad del personal.

4.1.2.3. Área de Envasado

Tabla 12. Resultados de mediciones en el área de envasado

Variable	Valores medidos	Criterio normativo	Diagnóstico
Ruido (dB(A))	94.5 – 98.4	Acción ≥85; Crítico >90	Valores muy elevados, ambos en nivel crítico → Riesgo severo
H_2S (ppm)	10 – 20	Alarma ≥10; Techo = 20	Condición de alarma en la primera y techo en la segunda → Riesgo crítico
CO (ppm)	35 – 70	Límite OSHA TWA = 50	Una lectura en límite y otra en exceso → Riesgo elevado
O_2 (%)	19.5 – 23.5	Aceptable: 19.5–23.5	Valores en límites inferior y superior → Riesgo dual (deficiencia y enriquecimiento)
LEL (%)	10 – 20	Alarma ≥10; Peligro ≥20	Una lectura en alarma y otra en peligro → Condición crítica

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: El área de envasado se identificó como la de mayor criticidad: los niveles de ruido superaron los límites permisibles, requiriendo controles de ingeniería y EPP obligatorio. Las mediciones de gases reflejaron condiciones comparables a las del área de descarga, con riesgos críticos de toxicidad e inflamabilidad.

4.1.3. Discusión de resultados instrumentales

Los resultados obtenidos a través de las mediciones técnicas confirmaron la presencia de condiciones subestándar en las tres áreas críticas de la planta envasadora MENDOGAS antes de la implementación del modelo de gestión.

Estas condiciones no solo corroboran las percepciones reportadas por los trabajadores en el cuestionario y reflejadas en el modelo de ecuaciones estructurales, sino que también aportan evidencia objetiva de los riesgos a los que estaba expuesto el personal.

En el área de mantenimiento, los niveles de ruido registrados superaron los umbrales de acción e incluso alcanzaron valores críticos (>90 dB(A)), lo que implica la necesidad de un programa formal de protección auditiva. Asimismo, las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) excedieron ampliamente las guías de referencia de la OMS, lo que representa un riesgo para la salud respiratoria y refleja deficiencias en la ventilación local. Finalmente, la iluminación resultó heterogénea, con al menos un punto por debajo del mínimo recomendado para tareas de detalle, comprometiendo la precisión y la seguridad en actividades técnicas.

En el área de descarga, las mediciones con el detector multigas revelaron situaciones críticas: presencia de H_2S en valores de techo (20 ppm), concentraciones de CO por encima de los límites permisibles (70 ppm), así como fluctuaciones de oxígeno en los límites inferior (19.5%) y superior (23.5%) de la zona segura, generando un riesgo dual de asfixia e incendio. Los niveles de LEL alcanzaron hasta 20%, lo que constituye una condición peligrosa de inflamabilidad que amerita medidas inmediatas de control.

En el área de envasado, además de los niveles críticos de ruido (94.5–98.4 dB(A)), se replicaron las condiciones de riesgo atmosférico observadas en descarga, con valores de H_2S y CO en condiciones de alarma y peligro, junto con oscilaciones en la concentración de oxígeno y valores de LEL que confirman la posibilidad de atmósferas explosivas. Esta área fue identificada como la de mayor criticidad, dado que en ella confluyen simultáneamente riesgos físicos (ruido), químicos (gases tóxicos e inflamables) y ergonómicos (manipulación de cilindros).

La convergencia entre los resultados instrumentales y las percepciones recogidas mediante el cuestionario presentado en el siguiente capítulo fortalece la validez externa del modelo de gestión propuesto. De este modo, dichos

resultados justifican la necesidad de implementar un sistema de gestión basado en el ciclo PDCA, orientado no solo a la mejora documental o administrativa, sino también a la adopción de medidas correctivas tangibles: entrega de equipos de protección personal, instalación de señalización, capacitaciones en manejo seguro de cilindros y controles técnicos en ventilación e iluminación. Estas acciones, que se detallan en el capítulo siguiente, constituyen la respuesta práctica a los hallazgos de esta evaluación y representan la transición hacia una gestión integral de los riesgos laborales en la planta.

4.1.4. Evaluación biomecánica postural de la manipulación manual de cargas

Como complemento a la evaluación instrumental de las condiciones ambientales, y en respuesta al alto nivel de riesgo por lesiones musculoesqueléticas identificado en la matriz IPER para las áreas operativas se realizó una medición biomecánica orientada a evaluar la cinemática del levantamiento de cargas.

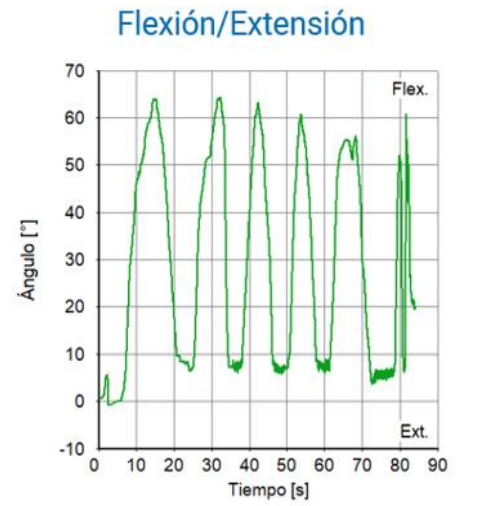
Para este estudio de caso se empleó tecnología de captura de movimiento mediante sensores inerciales procesados en el software STT Systems. La prueba consistió en monitorizar a un operador durante el ciclo de levantamiento simultáneo de dos cilindros de GLP (uno por cada extremidad superior), evaluando el nivel de flexión y extensión del torso respecto a la cadera en dos escenarios: adoptando una postura subestándar (sin técnica ergonómica) y adoptando una postura segura (con flexión de rodillas y descenso del centro de gravedad). Las pruebas se realizaron tanto con cilindros vacíos como con cilindros llenos, a fin de determinar la influencia de la carga en la cinemática del movimiento. Los resultados consolidados de las mediciones se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen de variables cinemáticas en la flexión del torso

Condición de Carga	Técnica Empleada	Flexión Máxima Absoluta (°)	Flexión Media Máxima (°)	Nivel de Riesgo Postural (Ref. REBA)
Cilindro Vacío	Postura Subestándar	67	62	Crítico (>60°)
Cilindro Lleno	Postura Subestándar	64	61	Crítico (>60°)
Cilindro Vacío	Postura Segura	13	13	Bajo (<20°)
Cilindro Lleno	Postura Segura	22	16	Bajo (<20°)

La evidencia instrumental demuestra que, al ejecutar el levantamiento sin la técnica adecuada, el trabajador somete su columna a una flexión media superior a los 60°. Desde la perspectiva de la biomecánica ocupacional, este ángulo traslada la totalidad del momento de fuerza a los discos intervertebrales y ligamentos lumbares configurando un escenario de riesgo inminente para el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos.

Al aplicar los principios de gestión técnica y capacitación operativa propios de la fase "Do" del ciclo PDCA, el comportamiento cinemático del operador varió sustancialmente. Como se observa en la Figura Y la instrucción de flexionar las rodillas y mantener la espalda alineada permitió reducir la flexión media máxima a 16°. Esta corrección técnica transfiere la demanda mecánica a los grupos musculares inferiores (cuádriceps y glúteos), estabilizando la columna vertebral dentro de rangos articulares seguros. Estos hallazgos objetivos validan empíricamente el incremento en la percepción de control de riesgos reportada por los trabajadores en el área de envasado y sustentan la eficacia de los controles administrativos integrados en el modelo de gestión propuesto. A continuación, en las Figuras 1 y 2, se ilustra el contraste cinemático del levantamiento bajo la condición de mayor exigencia física (cilindros llenos).



Absoluto	(°)	Media
64	Máx.	61
3	Mín.	5
60	Rango	55

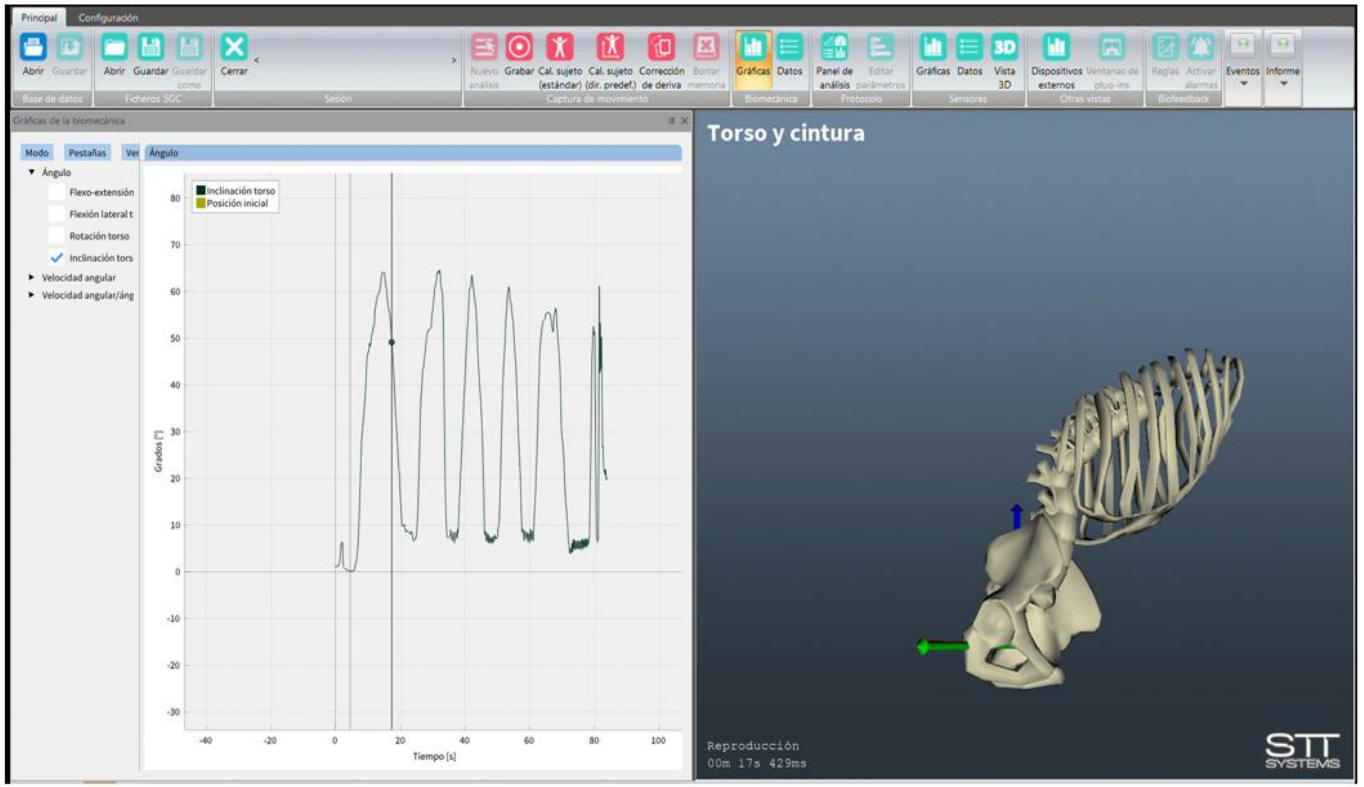
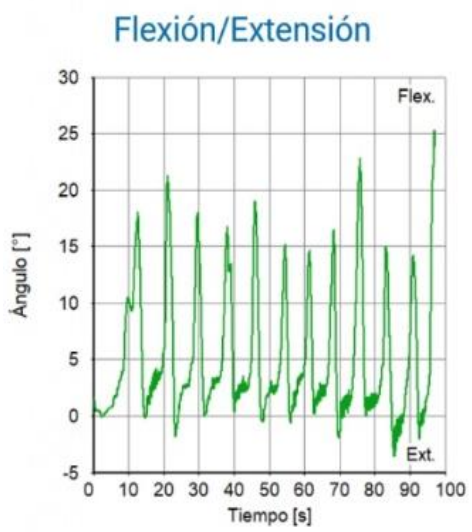


Figura 1. Registro cinemático de flexión del torso durante el levantamiento de cilindros llenos con postura subestándar.



Absoluto	(º)	Media
22	Máx.	16
-4	Mín.	-1
26	Rango	16

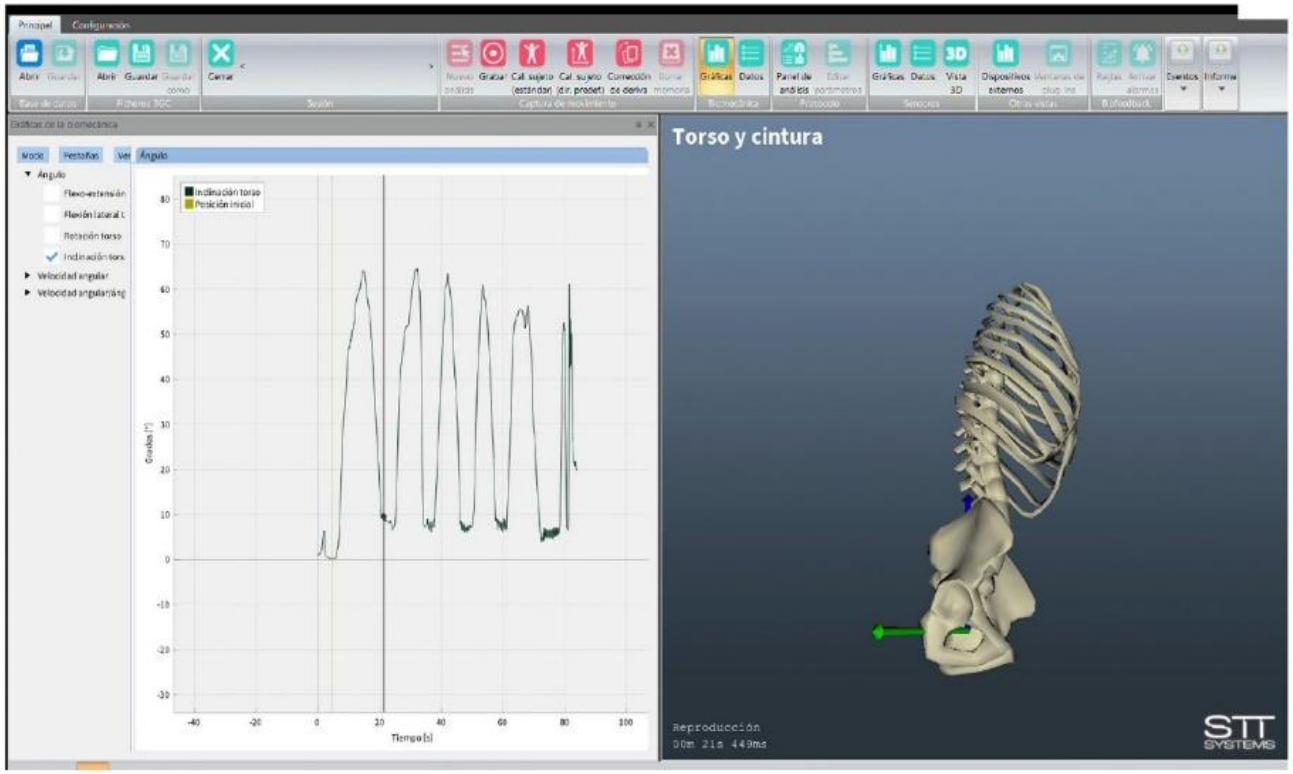


Figura 2. Registro cinemático de flexión del torso durante el levantamiento de cilindros llenos aplicando técnica ergonómica segura.

4.2. Implementación del ciclo de mejora continua (PDCA)

Los resultados presentados en el capítulo anterior evidenciaron que, antes de la implementación del modelo de gestión, las condiciones de trabajo en la planta envasadora MENDOGAS se encontraban por debajo de los estándares recomendados en ruido, iluminación, material particulado y atmósfera gaseosa. Estas deficiencias técnicas se reflejaron también en el modelo de ecuaciones estructurales presentados en la siguiente sección, donde la varianza explicada en el desempeño en SST (DSST) fue reducida y los coeficientes de relación entre los constructos resultaron débiles.

Frente a esta situación, se adoptó un enfoque de mejora continua basado en el ciclo de Deming (PDCA: Plan–Do–Check–Act), tal como lo establece la ISO 45001:2018 y las disposiciones normativas nacionales en seguridad y salud ocupacional. El ciclo PDCA garantiza que la gestión de riesgos laborales no se limite a la identificación de problemas, sino que integre la planificación de acciones preventivas, su ejecución controlada, la verificación de resultados y la retroalimentación sistemática hacia la mejora permanente.

En el contexto de MENDOGAS, el PDCA se operacionalizó en cuatro fases:

- **Plan (Planificar):** elaboración de un reglamento interno adaptado a la planta y definición de indicadores clave de desempeño en SST.

- **Do (Hacer):** implementación de acciones correctivas y preventivas, incluyendo capacitaciones, entrega de equipos de protección personal (EPP), señalización de áreas críticas y mejoras en ventilación e iluminación.
- **Check (Verificar):** seguimiento de los indicadores definidos, para evaluar la eficacia de las medidas implementadas.

- **Act (Actuar):** adopción de acciones correctivas adicionales, cierre de no conformidades, ajustes en el reglamento y consolidación del sistema de mejora continua.

La aplicación práctica de estas fases permitió no solo mitigar las condiciones subestándar identificadas en las mediciones instrumentales, sino también fortalecer la cultura de seguridad en la organización, alineando la gestión técnica con la percepción de los trabajadores y con los requisitos normativos vigentes. En las siguientes secciones se describen los resultados de cada fase del ciclo PDCA y su contribución a la consolidación del modelo de gestión de riesgos laborales en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP.

4.2.1. Fase Plan (Planificar)

La fase de planificación constituye el pilar inicial del ciclo PDCA, en la cual se definieron los lineamientos estratégicos y operativos del modelo de gestión de riesgos laborales en la planta MENDOGAS. Esta etapa se orientó a establecer qué riesgos se debían controlar, qué normas y responsabilidades regían las actividades y qué indicadores permitirían evaluar el desempeño del sistema.

4.2.1.1. Actualización del IPER (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos)

Se desarrolló una matriz de riesgos actualizada para los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros, considerando las categorías de peligros físicos, químicos, ergonómicos y mecánicos. La metodología aplicada siguió los lineamientos de la Resolución 957 de la CAN (2005) y de la ISO 45001:2018, empleando criterios de probabilidad, severidad y nivel de exposición para priorizar los riesgos, tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Extracto de la matriz de riesgos (IPER) para MENDOGAS

Proceso	Peligro identificado	Riesgo asociado	Probabilidad	Severidad	Nivel de riesgo	Acción planificada

Descarga	Fuga de GLP (gas inflamable)	Explosión/incendio	Alta	Alta	Crítico	Detectores calibrados, señalética, EPP obligatorio
Envasado	Ruido de compresores (>90 dB)	Hipoacusia laboral	Alta	Media	Alto	Programa auditivo, tapones de oído, mantenimiento de equipos
Mantenimiento	Polvo y partículas metálicas	Afecciones respiratorias	Media	Media	Moderado	Mascarillas, ventilación local, housekeeping
Envasado	Manipulación manual de cilindros	Lesiones musculoesqueléticas	Alta	Media	Alto	Capacitación en ergonomía, uso de carros transportadores

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Elaboración del reglamento interno de seguridad y salud

Con base en el IPER y en las disposiciones de la normativa nacional (Decreto Ejecutivo 255, 2024), se elaboró un **reglamento interno de seguridad y salud** adaptado a la realidad de la planta. Este documento incluyó:

- Política de SST de la empresa.
- Roles y responsabilidades de cada trabajador en materia preventiva.
- Procedimientos seguros para descarga, envasado y mantenimiento.
- Uso obligatorio de equipos de protección personal (tapones, mascarillas, guantes, lentes).

- Protocolos de respuesta a emergencias y evacuación.

La portada y formalización de este instrumento normativo se presentan en la **Figura 3**.

Figura 3. Reglamento interno de Seguridad y Salud Ocupacional MENDOGAS - Riobamba



Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Definición de indicadores de desempeño en SST

Para dar seguimiento al cumplimiento de los objetivos del sistema, se definieron indicadores clave (KPIs) que permiten medir de manera continua la eficacia de las acciones de gestión. Estos indicadores fueron alineados con las recomendaciones de la ISO 45001:2018 y con las guías del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS, 2024), tal y como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Indicadores de desempeño definidos para MENDOGAS

Dimensión	Indicador propuesto	Fórmula de cálculo	Meta anual

Gestión administrativa	Cumplimiento legal en SST (%)	(Requisitos cumplidos / Requisitos totales) × 100	≥ 95%
Talento humano	Cobertura de capacitación (%)	(Trabajadores capacitados / Total trabajadores) × 100	100%
Procesos operativos	Acciones correctivas cerradas en plazo (%)	(Acciones cerradas / Acciones detectadas) × 100	≥ 90%
Gestión técnica	Actualización de IPER (%)	(Áreas con IPER vigente / Áreas totales) × 100	100%
Desempeño en SST	Tasa de incidentes	(Nº incidentes × 200,000 / Horas-hombre)	0
Riesgo operativo	Alarmas críticas registradas en gases	Nº de alarmas / Mes	≤ 1

4.2.4. Fase Do (Hacer)

La fase de ejecución del ciclo PDCA se centró en la implementación práctica de las acciones planificadas, con el propósito de reducir la exposición a los riesgos identificados en la matriz IPER y mejorar las condiciones de seguridad de los trabajadores. Esta etapa representó el paso de la planificación estratégica a la acción directa en campo, constituyendo la evidencia tangible de la puesta en marcha del modelo de gestión.

4.2.4.1. Charlas de capacitación

Se desarrollaron sesiones formativas dirigidas al personal de las áreas de descarga, envasado y mantenimiento enfocadas en:

- Uso correcto de equipos de protección personal (tapones, mascarillas, lentes y guantes).
- Procedimientos seguros en la manipulación de cilindros de GLP con apoyo de un experto en ergonomía.
- Protocolos de actuación en caso de fuga de gas o activación de alarmas de los detectores.
- Concienciación sobre el ruido y la importancia de proteger la audición.

El desarrollo de estas actividades y la participación del personal se evidencian en la **Figura 4**.

Figura 4. Socialización formativa



Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.2. Entrega y uso de equipos de protección personal (EPP)

Con base en los resultados de las mediciones instrumentales, se entregaron los siguientes EPP a los trabajadores:

- Tapones auditivos y protectores tipo copa para áreas con ruido >85 dB(A).
- Mascarillas con filtros contra partículas para el área de mantenimiento.
- Guantes resistentes y lentes de seguridad para operaciones de descarga y envasado.

- Calzado de seguridad dieléctrico en toda la planta.

La distribución específica de estos implementos por zona operativa y el porcentaje de cobertura alcanzado se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16. EPP entregado por área de trabajo

Área	EPP entregado	Cobertura (%)
Mantenimiento	Mascarillas antipolvo, guantes, lentes	100%
Descarga	Guantes, lentes, calzado dieléctrico	100%
Envasado	Tapones auditivos, protectores auditivos, guantes, lentes	100%

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente a la dotación física, se llevaron a cabo actividades de concienciación para reforzar la importancia del uso adecuado de estos implementos, tal como se ilustra en la Figura 5.

Figura 5. Socialización de importancia del uso de EPP



Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.3. Señalización y mejoras operativas

Se instalaron y reubicaron señaléticas de seguridad en puntos críticos de la planta, con énfasis en:

- Rutas de evacuación.
- Áreas de uso obligatorio de EPP.
- Puntos de control de fugas y alarmas de gas.

Adicionalmente, se realizaron ajustes operativos, tales como:

- Mantenimiento preventivo de detectores de gas y alarmas, verificación de la alimentación de cada uno de estos.
- Análisis de una distribución parcial de luminarias en el área de mantenimiento.
- Refuerzo de sistemas de ventilación en el área de descarga.

La implementación física de estas señales en las instalaciones se aprecia en la Figura 6.

Figura 6. Señalizaciones en planta



Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.4. Impacto inmediato de la fase Do

Las acciones implementadas permitieron reducir la vulnerabilidad de los trabajadores frente a los riesgos identificados particularmente en relación con la exposición al ruido y a gases inflamables. Los controles introducidos aseguraron que las condiciones laborales pasaran de un estado de alto riesgo a un escenario de riesgo controlado bajo supervisión continua.

4.2.5. Fase Check (Verificar)

La fase de verificación se orientó a evaluar la eficacia de las acciones implementadas durante la etapa de ejecución (Do), asegurando que las medidas de control adoptadas contribuyeran efectivamente a la reducción de los riesgos identificados. Esta verificación se realizó a través de auditorías internas, rondas de inspección y el seguimiento de indicadores de desempeño en SST.

4.2.5.1. Auditorías internas y rondas de inspección

Se llevaron a cabo auditorías internas de seguridad y salud, enfocadas en:

- Verificar el uso obligatorio de EPP en las áreas críticas.
- Confirmar el correcto funcionamiento de detectores de gas y alarmas.
- Revisar el cumplimiento de la política de seguridad publicada en la cartelera de la planta.
- Identificar nuevas condiciones subestándar que requirieran atención inmediata.

Estas auditorías permitieron detectar incumplimientos menores en el uso de EPP y retrasos en la reposición de señalética, los cuales fueron corregidos oportunamente mediante la fase Act.

4.2.5.2. Retroalimentación de trabajadores

Se realizaron entrevistas breves a trabajadores tras las auditorías, quienes reportaron sentirse más seguros en las áreas de envasado y descarga tras la entrega de EPP y las capacitaciones. Este testimonio cualitativo refuerza los resultados cuantitativos, confirmando que las medidas de control tuvieron un impacto positivo en la percepción de seguridad y en la cultura preventiva de la empresa. Un ejemplo del proceso de recolección de estos testimonios en campo se documenta en la Figura 7.

Figura 7. Entrevista a trabajadores para retroalimentación



Fuente: Elaboración Propia

4.2.6. Fase Act (Actuar)

La fase Act constituyó el cierre del ciclo PDCA, orientada a la corrección de desviaciones detectadas en la etapa de verificación, así como a la consolidación de mecanismos de mejora continua. Esta etapa aseguró que el modelo de gestión implementado en la planta envasadora MENDOGAS no quedara limitado a acciones puntuales, sino que se transformara en un sistema dinámico, capaz de adaptarse a nuevos riesgos y mantener altos niveles de cumplimiento normativo.

4.2.6.1. Acciones correctivas implementadas

A partir de los hallazgos de las auditorías internas (fase Check), se ejecutaron las siguientes medidas:

- Reposición de señalética en las áreas de envasado y mantenimiento, garantizando visibilidad y actualización permanente.
- Refuerzo en el control del uso de EPP, mediante supervisión directa y sanciones leves en casos de incumplimiento reiterado.
- Ampliación de las capacitaciones, incorporando módulos de ergonomía avanzada para manipulación de cilindros y de respuesta ante emergencias con fugas de GLP.

4.2.6.2. Ajustes al reglamento interno

Se realizaron modificaciones en el reglamento interno de seguridad y salud ocupacional para incorporar:

- Protocolos actualizados de control de atmósferas peligrosas en el área de descarga.
- Procedimientos de mantenimiento y revisión energética regular en los equipos de medición.
- Socialización sobre levantamiento manual y mecánico de cilindros de GLP, con base en recomendaciones de expertos en ergonomía.

La socialización de estas disposiciones (Figura 8) es de vital importancia para la consolidación de los tópicos descritos anteriormente.

Figura 8. Charla sobre reglamento interno



Fuente: Elaboración Propia

4.2.7. Consolidación de la mejora continua

Se socializó un sistema de revisión semestral del IPER y de los indicadores de desempeño en SST, de modo que la gestión de riesgos laborales se mantenga alineada con la normativa vigente y con la evolución tecnológica de la planta. Este sistema de revisión periódica garantiza que el modelo de gestión no se perciba como una acción aislada, sino como un proceso cíclico de mejora sostenida, tal como lo establece la ISO 45001:2018. La incorporación de estas acciones correctivas y ajustes reglamentarios fortalece la capacidad de la empresa para anticipar riesgos, responder con rapidez ante contingencias y consolidar una cultura preventiva entre sus trabajadores.

4.3. Análisis para validación de resultados

En el presente estudio se definió un cuestionario estructurado con el propósito de medir de manera válida y confiable los constructos teóricos que conforman el modelo de gestión de riesgos laborales. Para cada una de las dimensiones principales del sistema de gestión (Gestión Administrativa, Gestión del Talento Humano, Procesos Operativos, Gestión Técnica y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo) se establecieron cuatro ítems de tipo Likert, mientras que para el constructo Riesgo Percibido se formularon tres ítems específicos. Esta decisión metodológica respondió a la necesidad de mantener un equilibrio entre la representatividad de los indicadores normativos y la viabilidad práctica de la recolección de datos, considerando que la población de estudio se compuso de cuarenta y cinco trabajadores.

La literatura especializada en modelos de ecuaciones estructurales señala que cada factor latente debe estar medido por al menos tres indicadores observables, a fin de garantizar la identificabilidad estadística y la validez de los resultados. Bajo este criterio, el número de ítems propuesto para cada constructo se ubicó dentro del rango recomendado internacionalmente, que oscila entre tres y cinco indicadores por dimensión (Hair et al., 2019). Asimismo, se evitó la inclusión de un número excesivo de preguntas que pudiera generar fatiga en los encuestados y comprometer la calidad de las respuestas, lo cual es especialmente relevante en contextos donde la muestra es reducida y se aplican censos completos.

La selección de los ítems se realizó tomando como referencia los lineamientos establecidos en la normativa nacional e internacional en materia de seguridad y salud en el trabajo. En particular, se consideraron las disposiciones del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo (Decisión 584, 2004) y su Reglamento de aplicación (Resolución 957, 2005) que definen la estructura básica de los sistemas de gestión en la subregión andina. De igual manera se incluyó lo establecido en el Decreto Ejecutivo 255 del Ecuador (2024), que regula la seguridad y salud de los trabajadores y establece los ejes de gestión administrativa, técnica del talento humano y de procedimientos operativos. En el ámbito internacional se tuvo en cuenta la norma ISO 45001:2018, la cual dispone

los requisitos para la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional bajo un enfoque de mejora continua basado en el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) (ISO, 2018). Finalmente se revisaron las directrices emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) sobre el Sistema de Administración de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SASST), que precisan los indicadores de auditoría, cumplimiento legal, capacitación, inspecciones y desempeño en SST (IESS, 2024).

Con base en la operacionalización de variables y en los lineamientos normativos previamente expuestos se procedió a diseñar un cuestionario conformado por ítems distribuidos en las dimensiones centrales del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Cada conjunto de preguntas se orientó a captar la percepción de los trabajadores sobre aspectos clave de la gestión administrativa, la gestión del talento humano, los procesos operativos y la gestión técnica, así como sobre el control de riesgos en procesos críticos y los resultados de desempeño en seguridad. En este sentido, se incluyeron preguntas relativas a la existencia y difusión de la política de SST la claridad de roles y responsabilidades, la ejecución de auditorías internas el seguimiento de la mejora continua, la suficiencia de la capacitación recibida, las competencias del personal, la investigación de incidentes el cierre oportuno de acciones correctivas, la actualización de procedimientos y la realización de simulacros, entre otros. Asimismo, se incorporaron ítems específicos para valorar la percepción del control de riesgos en las áreas de descarga, envasado y mantenimiento.

A continuación, se presenta la estructura del cuestionario aplicado en la investigación. El instrumento se organizó en seis dimensiones que corresponden a los principales componentes del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo: Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH), Procesos Operativos (PO), Gestión Técnica (GTEC), Riesgo percibido (RIESGO) y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST). Cada dimensión se compone de ítems formulados en escala tipo Likert de cinco puntos, en la que un valor de 1 representa “totalmente en desacuerdo” y un valor de 5 representa “totalmente de acuerdo”. Los códigos alfanuméricos asignados

(por ejemplo, *ga1*, *gth2*) permiten identificar cada ítem dentro de su respectiva dimensión y facilitan el análisis estadístico posterior en el modelo de ecuaciones estructurales.

Leyendas utilizadas en la tabla:

- **GA - Gestión Administrativa:** Evalúa la existencia de políticas, claridad de roles, auditorías internas y mecanismos de mejora continua.
- **GTH - Gestión del Talento Humano:** Incluye ítems sobre capacitación, competencias del personal, investigación de incidentes y cierre de acciones preventivas o correctivas.
- PO: Procesos Operativos. Considera la actualización de procedimientos, la ejecución de simulacros, la calibración de equipos de control y la capacidad de respuesta frente a desviaciones.
- **GTEC - Gestión Técnica:** Se refiere a la actualización del IPER, la aplicación de análisis de riesgos de trabajo (APR) y permisos de trabajo (PTW), la implementación de controles de ingeniería y la vigilancia ambiental y de salud.
- **RIESGO_perc - Riesgo percibido:** Valora la percepción de los trabajadores sobre el control de riesgos en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento, identificados como críticos en el contexto de la empresa.
- **DSST - Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo:** Mide la percepción sobre la reducción de incidentes y días perdidos, el cierre de hallazgos y la ausencia de no conformidades mayores en los procesos.

De esta forma, la tabla sintetiza el conjunto de ítems que conforman el cuestionario, asegurando claridad conceptual y consistencia con la normativa vigente y con los objetivos del estudio.

4.3.1. Cuestionario de Evaluación del Sistema de Gestión de SST

La Tabla 17 presenta los ítems del cuestionario, organizados por constructo, en formato interrogativo. Cada pregunta fue evaluada en escala tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo).

Tabla 17. Cuestionario de Evaluación del Sistema de Gestión de SST

VARIABLE	*CONSTRUCTO*	*ITEM*
ga1	**GA**	¿La política de SST está aprobada y difundida?
ga2	**GA**	¿Tengo claros mis roles y responsabilidades en SST?
ga3	**GA**	¿Se realizan auditorías o inspecciones internas según plan?
gth1	**GTH**	¿He recibido capacitación suficiente para mi puesto?
gth2	**GTH**	¿El personal posee competencias adecuadas en SST?
gth3	**GTH**	¿Se investigan los incidentes y se comparten las lecciones aprendidas?
gth4	**GTH**	¿Las acciones correctivas y preventivas se cierran a tiempo?
po1	**PO**	¿Los procedimientos críticos están actualizados y disponibles?
po2	**PO**	¿Se realizan simulacros o pruebas de respuesta a emergencias?
po3	**PO**	¿Los equipos de control (detectores y alarmas) están calibrados?
po4	**PO**	¿Los tiempos de respuesta ante desviaciones son adecuados?
gt1	**GTEC**	¿El IPER de mi área está actualizado (menos de 12 meses)?
gt2	**GTEC**	¿Se aplican los APR/PTW en tareas críticas de forma consistente?
gt3	**GTEC**	¿Se implementan controles de ingeniería antes que los equipos de protección personal (EPP)?
riesgo1	**RIESGO_perc**	¿Los riesgos en las actividades de DESCARGA están adecuadamente controlados?

riesgo2	**RIESGO_perc**	¿Los riesgos en las actividades de ENVASADO están adecuadamente controlados?
riesgo3	**RIESGO_perc**	¿Los riesgos en las actividades de MANTENIMIENTO están adecuadamente controlados?
dsst1	**DSST**	¿Ha disminuido la tasa de incidentes en mi área?
dsst2	**DSST**	¿Se han reducido los días perdidos por accidentes?
dsst3	**DSST**	¿Se cierran los hallazgos e inspecciones en el tiempo previsto?
dsst4	**DSST**	¿No ocurren no conformidades mayores en mi proceso?

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Modelo de ecuaciones estructurales (SEM) propuesto

El modelo de análisis estructural planteado en esta investigación se fundamentó en la necesidad de analizar, de manera simultánea, las relaciones entre los diferentes componentes del sistema de gestión y su efecto en el desempeño. A diferencia de los modelos de regresión simples, este enfoque permite integrar la evaluación de las relaciones causales propuestas teóricamente.

En este estudio se definieron seis constructos de primer orden: Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH), Procesos Operativos (PO), Gestión Técnica (GTEC), Riesgo Percibido (RIESGO) y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST). Dada la naturaleza del estudio (censo, N=45), se adoptó un enfoque parsimonioso, creando una variable compuesta denominada Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL). Esta variable, calculada como el promedio de los constructos GA, GTH y PO, representa de manera observable y robusta el núcleo del sistema de gestión, en concordancia con el ciclo PDCA.

El modelo teórico propuesto se estructuró bajo las siguientes hipótesis:

- Un mayor nivel de SGPRL se relaciona positivamente con la mejora de la Gestión Técnica (GTEC).

- Un mayor nivel de SGPRL y de GTEC se asocia con una reducción significativa del Riesgo Percibido (RIESGO).
- El Desempeño en Seguridad y Salud (DSST) es explicado por la influencia conjunta de SGPRL, GTEC y RIESGO.

La representación gráfica de este modelo, a través del diagrama de rutas, permite observar las relaciones de dependencia establecidas. En dicho diagrama, la **variable compuesta SGPRL** actúa como la principal variable exógena, mientras que GTEC, RIESGO y DSST se configuran como variables endógenas cuya varianza es explicada por los efectos del sistema de gestión. A continuación, en la Tabla 18 se muestran las relaciones entre cada uno de ellos.

Tabla 18. Relaciones entre constructos

Hipótesis del Modelo	Variable Predictora (Exógena)	Relación Hipotetizada	Variable de Resultado (Endógena)	Justificación Teórica
H1	Sistema de Gestión (SGPRL)	→ Influencia Positiva	Gestión Técnica (GTEC)	Un sistema de gestión robusto debe fortalecer los controles y procedimientos técnicos (ISO 45001, 2018).
H2	Sistema de Gestión (SGPRL)	→ Influencia Negativa	Riesgo Percibido (RIESGO)	Un sistema de gestión eficaz aumenta la percepción de control, lo que reduce la percepción del riesgo (Stolzer, 2015).
H3	Gestión Técnica (GTEC)	→ Influencia Positiva	Desempeño en SST (DSST)	La correcta aplicación de controles técnicos (IPER, PTW) debe traducirse en mejores resultados de seguridad (Decreto Ejecutivo 255, 2024).
H4	Sistema de Gestión (SGPRL)	→ Influencia Positiva	Desempeño en SST (DSST)	El sistema de gestión en su conjunto debe tener un impacto directo y positivo en los resultados de desempeño (Hair et al., 2019).

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Diseño del estudio y muestra

El estudio adoptó un diseño pareado longitudinal con dos mediciones en tiempo distinto sobre la misma población de trabajadores: fase “Antes” de la implementación del sistema de gestión y fase “Después” de su puesta en marcha. La población estuvo compuesta por 45 trabajadores de la empresa objeto de estudio, lo que permitió realizar un censo en ambas instancias. Este enfoque facilitó la comparación directa de percepciones e indicadores del sistema de gestión y del desempeño en seguridad y salud reduciendo la variabilidad atribuible a diferencias interindividuales. La selección de una muestra censal respondió a la dimensión organizacional y a la necesidad de maximizar la potencia estadística disponible sin recurrir a técnicas muestrales probabilísticas. Las especificaciones técnicas y operativas de este diseño se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Diseño del estudio y muestra

Elemento	**Especificación**
Tipo de diseño	Longitudinal pareado (Antes/Después)
Población	45 trabajadores
Cobertura	Censo (misma N en las dos fases)
Instrumento	Cuestionario Likert 1–5 (mayor = mejor)
Constructos latentes	GA, GTH, PO, GTEC, RIESGO, DSST; SGPRL (2º orden)
Momento de medición	Fase Antes; Fase Después
Unidad de análisis	Trabajador
Confidencialidad y ética	Anónimo; consentimiento informado

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3.1. Instrumento y variables

Se empleó un cuestionario tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo) diseñado para operacionalizar seis constructos latentes: Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH), Procesos Operativos (PO), Gestión Técnica (GTEC), Riesgo percibido (RIESGO) y Desempeño en Seguridad y Salud (DSST). Los ítems fueron redactados en dirección positiva, se aplicó recodificación previa para asegurar direccionalidad uniforme (“más = mejor”).

4.3.3.2. Procedimiento de recolección y consideraciones éticas

Las aplicaciones se efectuaron en jornada laboral con autorización de la empresa, bajo modalidad autoadministrada y anónima. Se proporcionó información sobre los objetivos del estudio y la confidencialidad de las respuestas; la participación fue voluntaria y con consentimiento informado. No se recopilaron datos identificatorios personales. El protocolo observó los principios éticos de la institución académica y las disposiciones vigentes en materia de protección de datos.

4.3.4. Preparación de datos y supuestos

Se evaluaron atípicos multivariados mediante la distancia de Mahalanobis y se examinó la normalidad multivariada con el estadístico de energía y la prueba multivariada de Shapiro–Wilk (Royston), complementada por la revisión de asimetría y curtosis univariadas de cada indicador

4.3.4.1. Coeficientes de regresión

Dada la naturaleza del estudio (censo, N=45) y con el fin de asegurar la máxima estabilidad y fiabilidad de las estimaciones se optó por un enfoque parsimonioso para el análisis estructural. En lugar de un modelo completo de variables latentes, se realizó un análisis de rutas utilizando compuestos observados. Para

ello, se calcularon las puntuaciones promedio de los ítems correspondientes a cada constructo (GA, GTH, PO, GTEC, RIESGO y DSST) para las fases "Antes" y "Después". El constructo del Sistema de Gestión (SGPRL) se calculó como el promedio de sus tres dimensiones (GA, GTH y PO). Esta estrategia metodológica recomendada para muestras de estas características permite una comparación robusta y directa del efecto de la intervención. A continuación, se presentan los resultados de este análisis.

El análisis de rutas con compuestos observados mostró que, en la fase Antes de la implementación, ninguno de los coeficientes de regresión resultó estadísticamente significativo ($p > 0.10$), con valores de β comprendidos entre -0.17 y 0.38 . Los coeficientes de determinación fueron bajos ($R^2 \leq 0.05$), lo que indica que el modelo explicaba una proporción reducida de la varianza en GTEC, RIESGO y DSST. Los valores específicos de estas estimaciones para ambas fases del estudio se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Coeficientes de regresión en el modelo de rutas por fase

Fase	Ecuación	Predictor	β (Est)	SE	t	p
Antes	GTEC ~ SGPRL	SGPRL	0.379	0.248	1.53	0.135
Antes	RIESGO ~ SGPRL	SGPRL	–0.172	0.266	–0.65	0.521
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	SGPRL	–0.108	0.247	–0.44	0.664
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	GTEC	0.12	0.148	0.81	0.422
Después	GTEC ~ SGPRL	SGPRL	0.222	0.27	0.82	0.415
Después	RIESGO ~ SGPRL	SGPRL	–0.312	0.295	–1.06	0.297
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	SGPRL	0.296	0.228	1.3	0.201
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	GTEC	0.136	0.128	1.06	0.296

Fuente: Elaboración Propia

En la fase Después de la implementación, aunque los coeficientes de SGPRL → DSST (β = 0.296, p = 0.201) y GTEC → DSST (β = 0.136, p = 0.296) mostraron un incremento en magnitud, tampoco alcanzaron significación estadística. No obstante, el R^2 del modelo de desempeño en SST (DSST ~ SGPRL + GTEC) aumentó a 0.071, lo cual refleja una mejora relativa en la capacidad explicativa

del modelo. Los valores comparativos de los coeficientes de determinación para ambas fases se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Coeficientes de determinación (R^2) del modelo por fase

Fase	Ecuación	R^2
Antes	GTEC ~ SGPRL	0.051
Antes	RIESGO ~ SGPRL	0.01
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.017
Después	GTEC ~ SGPRL	0.015
Después	RIESGO ~ SGPRL	0.025
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.071

Fuente: Elaboración Propia

4.3.5. Análisis Comparativo de la Percepción de los Trabajadores (Pre-Post)

En este apartado se presentan los resultados cuantitativos del análisis comparativo de la percepción de los 45 trabajadores en las fases "Antes" y "Después" de la implementación del modelo de gestión. El objetivo de esta sección es doble: primero, describir la magnitud del cambio en las variables clave del estudio y, segundo, determinar si dicho cambio es estadísticamente significativo. Estos análisis proporcionarán la evidencia necesaria para el contraste de las hipótesis específicas de la investigación.

4.3.5.1. Análisis Descriptivo de las Variables del Modelo

El primer paso para evaluar el efecto de la intervención consistió en realizar un análisis descriptivo de las seis variables compuestas del modelo. Se calcularon las medias y las desviaciones estándar para cada constructo en ambas fases del estudio. Este análisis permite cuantificar la dirección y la magnitud del cambio en

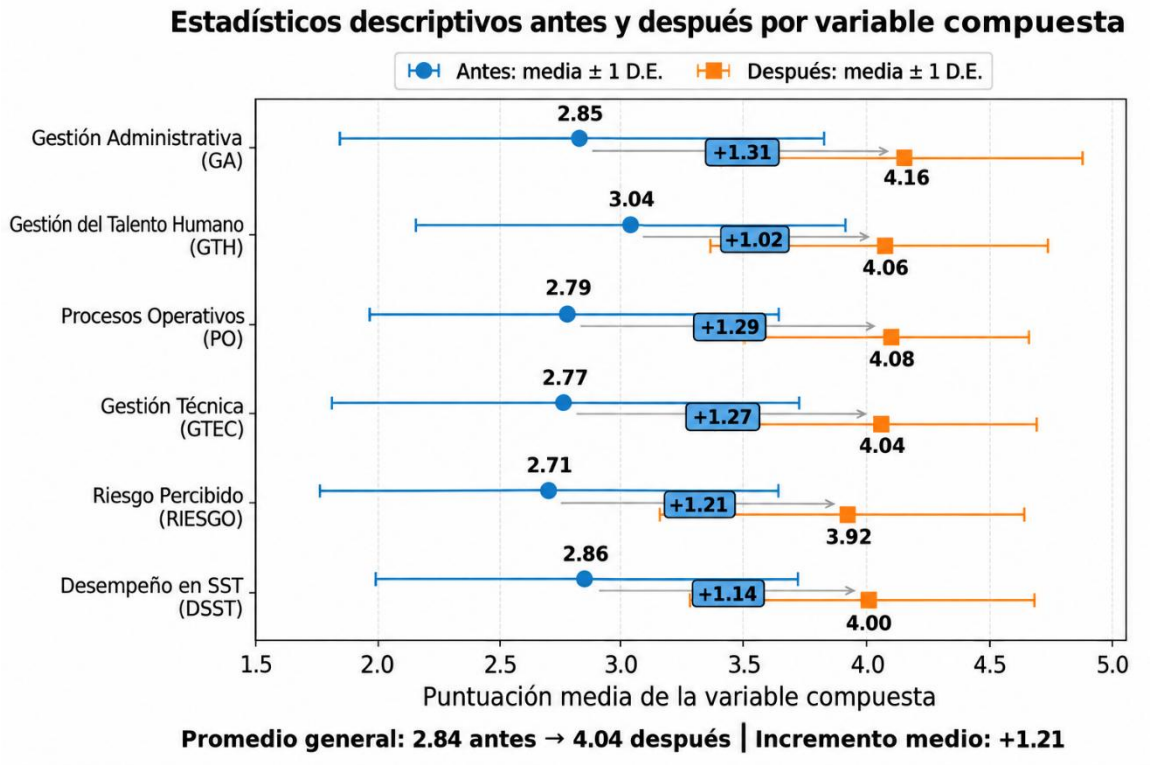
la percepción de los trabajadores sobre el sistema de gestión (GA, GTH, PO), los controles técnicos (GTEC), el riesgo (RIESGO) y el desempeño general en seguridad (DSST). La Tabla 22 y la Figura 9 resume estos hallazgos.

Tabla 22. Estadísticos Descriptivos de las Variables Compuestas (Antes y Después, N=45)

Variable Compuesta	Media "Antes"	D.E. "Antes"	Media "Después"	D.E. "Después"
Gestión Administrativa (GA)	2.85	0.99	4.16	0.72
Gestión del Talento Humano (GTH)	3.04	0.87	4.06	0.68
Procesos Operativos (PO)	2.79	0.81	4.08	0.58
Gestión Técnica (GTEC)	2.77	0.96	4.04	0.65
Riesgo Percibido (RIESGO)	2.71	0.94	3.92	0.73
Desempeño en SST (DSST)	2.86	0.86	4	0.68

Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. Gráfico de Estadísticos Descriptivos de las Variables Compuestas



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados descriptivos revelan un cambio sustancial y positivo en la percepción de los trabajadores tras la implementación del modelo de gestión. Todas las variables del modelo mostraron un incremento de más de un punto en la escala Likert de 1 a 5, superando el umbral de "indiferencia" (3.0) para situarse cerca del nivel de "acuerdo" (4.0). Notablemente, las variables con las puntuaciones iniciales más bajas (RIESGO, GTEC y PO) experimentaron los mayores incrementos, sugiriendo que la intervención fue efectiva precisamente en las áreas de mayor debilidad. Además, la disminución general de la desviación estándar en la fase "Después" indica un mayor consenso entre los trabajadores, reflejando una percepción más homogénea y consolidada del nuevo sistema de gestión.

4.3.6. Análisis Exploratorio de Datos y Adecuación Muestral.

Previo a la estimación del modelo de ecuaciones estructurales (SEM), se desarrolló un análisis exploratorio orientado a validar empíricamente la estructura dimensional de las variables dependientes del estudio: Gestión Técnica (GTEC), Riesgo Percibido (RIESGO) y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST). Para asegurar la estabilidad de la matriz de datos y capturar la variabilidad integral del fenómeno, el análisis de componentes principales se ejecutó considerando el conjunto total de observaciones, evaluando los diez ítems que conforman los tres constructos mencionados.

Como primer paso en la verificación de los supuestos estadísticos, se analizó la matriz de correlaciones inter-ítems para determinar la viabilidad de la factorización. A partir de esta matriz, se calculó el determinante, el cual alcanzó un valor de 0.016. Este indicador permite descartar la presencia de multicolinealidad extrema o singularidad, demostrando que existe un grado de correlación suficiente entre las variables para justificar el procedimiento, como se detalla en la Tabla 23.

Tabla 23. Matriz de correlación inter-ítems y valor del determinante

	gt1	gt2	gt3	riesgo1	riesgo2	riesgo3	dsst1	dsst2	dsst3	dsst4
gt1	1									
gt2	0.42	1								
gt3	0.43	0.51	1							
riesgo1	0.49	0.44	0.53	1						
riesgo2	0.34	0.49	0.56	0.444	1					
riesgo3	0.4	0.52	0.43	0.432	0.486	1				
dsst1	0.32	0.4	0.57	0.484	0.495	0.349	1			
dsst2	0.52	0.49	0.47	0.356	0.352	0.52	0.4	1		
dsst3	0.48	0.48	0.44	0.458	0.462	0.357	0.31	0.43	1	
dsst4	0.36	0.52	0.5	0.492	0.335	0.452	0.36	0.37	0.36	1

Nota. Determinante de la matriz de correlación = 0.016.

Posteriormente, con el objetivo de verificar la idoneidad específica de cada variable dentro del modelo, se evaluó la matriz anti-imagen. El análisis se centró en los elementos de la diagonal principal, correspondientes a las Medidas de Adecuación Muestral individual (MSA). Como se observa en la Tabla 24 y en la

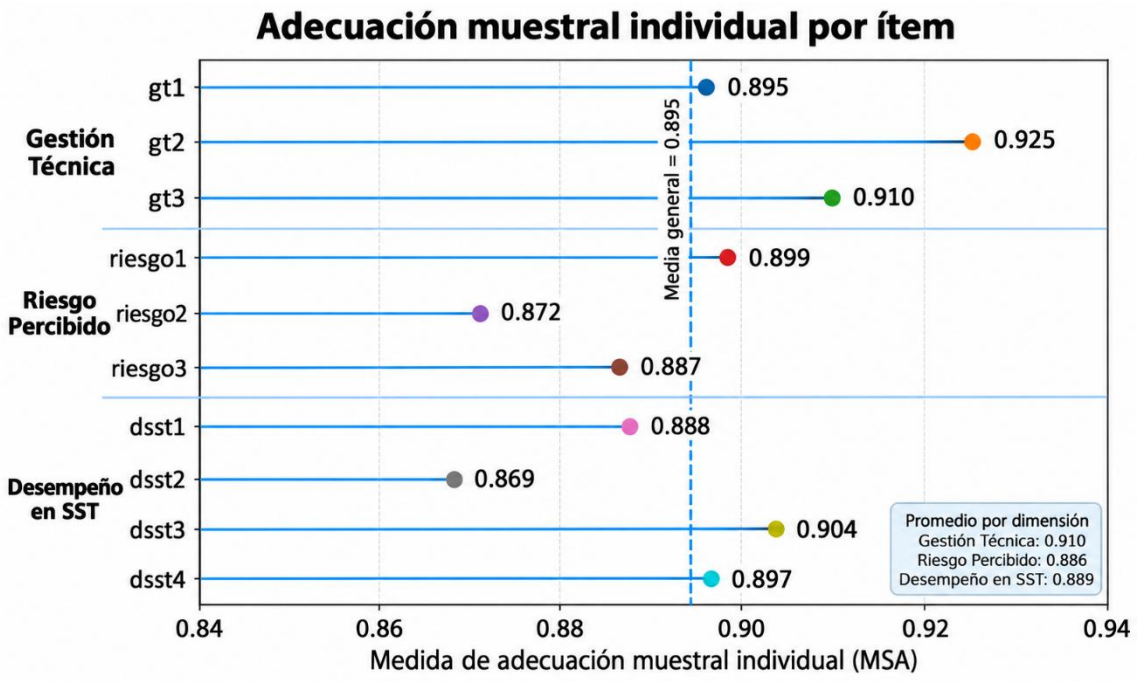
Figura **10**, la totalidad de los ítems presentó coeficientes que oscilan entre 0.869 y 0.925. Estos valores superan el criterio mínimo de aceptación de 0.50, evidenciando que cada variable individual comparte suficiente varianza con el resto del conjunto, lo que confirma su retención en la estructura del instrumento.

Tabla 24. Medidas de adecuación muestral individual (Diagonal de la matriz anti-imagen)

Dimensión	Ítems	Diagonal Matriz Anti-imagen (MSA)
Gestión Técnica	gt1	0.895
	gt2	0.925
	gt3	0.91
Riesgo Percibido	riesgo1	0.899
	riesgo2	0.872
	riesgo3	0.887
Desempeño en SST	dsst1	0.888
	dsst2	0.869
	dsst3	0.904
	dsst4	0.897

Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. Gráfico comparativo de medidas de adecuación muestral individual



Fuente: Elaboración Propia

Para complementar el análisis de viabilidad de la factorización, se evaluó la adecuación muestral global y la interdependencia general de las variables. El cálculo del índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) arrojó un valor de 0.895, coeficiente que indica una alta proporción de varianza común entre las variables analizadas. De manera simultánea, se aplicó la Prueba de Esfericidad de Bartlett para contrastar la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones es una matriz identidad. El resultado de esta prueba arrojó un valor Chi-cuadrado de 352.577 con 45 grados de libertad, resultando estadísticamente significativo ($p < .001$). Los datos de ambas pruebas, consolidados en la Tabla 25, ratifican la existencia de correlaciones idóneas en la base de datos para proceder con la reducción de dimensiones.

Tabla 25. Pruebas globales de adecuación muestral (KMO y Bartlett)

Prueba estadística	Indicador	Valor
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	Medida de adecuación muestral global	0.895

Prueba de Esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	352.577
	Grados de libertad (gl)	45
	Significancia (p)	< .001

Fuente: Elaboración Propia

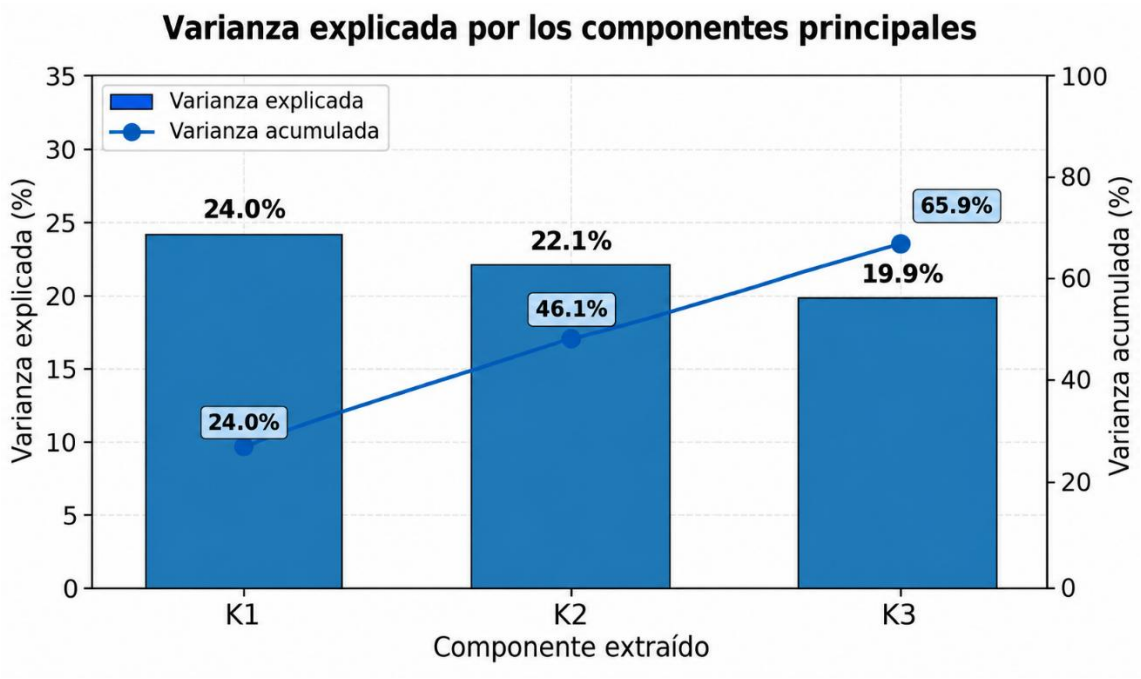
Posteriormente, se ejecutó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar la cantidad de varianza que logra explicar el modelo de medición. En congruencia con el diseño teórico de la investigación, la extracción se configuró específicamente para la retención de tres componentes (K_1, K_2, K_3), correspondientes a las dimensiones de Gestión Técnica, Riesgo Percibido y Desempeño en SST. Como se expone en la Tabla 26 y en la Figura 11, el primer componente (K_1) explica el 24.0 % de la varianza, el segundo (K_2) un 22.1 %, y el tercero (K_3) un 19.9 %.

Tabla 26. Varianza total explicada mediante el Análisis de Componentes Principales

Componente extraído	Porcentaje de varianza explicada	Porcentaje de varianza acumulada
K1	24.00%	24.00%
K2	22.10%	46.10%
K3	19.90%	65.90%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. Varianza explicada por los componentes principales



Fuente: Elaboración Propia

En su conjunto, el modelo de tres componentes alcanza una varianza total explicada acumulada del 65.9 %. Este porcentaje indica que el conjunto de los tres componentes logra interpretar adecuadamente la mayor parte de la información contenida en las variables originales, aportando evidencia exploratoria preliminar sobre la posible estructura dimensional antes de su evaluación en el sistema de ecuaciones estructurales.

4.3.7. Evaluación del modelo de medición (CFA)

4.3.7.1. Especificación del modelo CFA/SEM

El modelo de medición se especificó conforme a la estructura teórica del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) y a los lineamientos normativos vigentes (ISO 45001:2018; Decisión 584 y Resolución 957 de la CAN; normativa nacional aplicable). Se definieron seis constructos de primer orden: Gestión Administrativa (GA), Gestión del Talento Humano (GTH), Procesos Operativos (PO), Gestión Técnica (GTEC), Riesgo percibido (RIESGO) y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST). Cada factor latente se operacionalizó con tres o cuatro indicadores tipo Likert, asegurando un mínimo

de tres ítems por dimensión para garantizar identificación y parsimonia del modelo .

En coherencia con la conceptualización del sistema, se planteó además un factor de segundo orden SGPRL que resume la varianza común de los pilares de gestión de base (GA, GTH y PO), manteniendo el enfoque de mejora continua (PDCA) y el alineamiento entre gestión, controles técnicos y resultados de desempeño. Dado que los ítems se midieron en escala de cinco categorías y considerando la evidencia mixta de normalidad multivariada y el tamaño muestral disponible, la estimación se programó bajo el estimador MLR con manejo FIML de datos faltantes, tratándose los indicadores como continuos para maximizar la estabilidad y la comparabilidad entre fases sin manipulación ad hoc de categorías. Los índices de bondad de ajuste resultantes de este análisis se detallan en la Tabla 27.

Tabla 27. Índices de ajuste global del CFA multigrupo (MLR)

Índice	Valor
chisq	387.085
df	348
pvalue	0.0729
CFI	0.658
TLI	0.5872
RMSEA	0.05
SRMR	0.1161

Fuente: Elaboración Propia

Los índices de ajuste del modelo configural estimado mediante MLR con FIML mostraron un patrón mixto. El estadístico $\chi^2(348)=387.085$ con $p=0.0729$ no rechaza el ajuste exacto, si bien es conocido que χ^2 es sensible al tamaño muestral y a la complejidad del modelo. En cuanto a los índices incrementales, CFI=0.658 y TLI=0.587 evidencian un ajuste moderado–bajo respecto del modelo nulo, lo que sugiere varianza común no plenamente capturada por la estructura propuesta. Por su parte, los índices de aproximación exhiben señales

contrapuestas: RMSEA=0.050 apunta a un ajuste cercano en términos de error medio por grado de libertad, mientras que SRMR=0.116 revela residuales estandarizados aún elevados a nivel de indicadores. En conjunto, estos resultados apoyan la equivalencia estructural básica (configural) entre fases como punto de partida, pero recomiendan prudencia para imponer restricciones adicionales (métrica/escalar) y justifican complementar la evidencia con el modelo parsimonioso por compuestos y con análisis de invarianza parcial cuando corresponda, dada la relación exigente entre número de parámetros y N=45.

4.3.7.2. Evaluación de invarianza entre fases

Para posibilitar comparaciones significativas entre las fases “Antes” y “Después”, el plan analítico contempló la evaluación secuencial de la invarianza de medida: configuración (igual estructura factorial), invarianza métrica (igualdad de cargas) e invarianza escalar (igualdad de interceptos). Este procedimiento se diseñó siguiendo la práctica recomendada en SEM, con contraste incremental entre modelos anidados y criterios habituales de cambio en índices de ajuste (p. ej., variaciones pequeñas en CFI, RMSEA y SRMR) como guía para la toma de decisiones. La lógica de este enfoque es asegurar que las diferencias observadas entre fases reflejen cambios en los niveles de los constructos y no artefactos de medición. De esta manera, la comparación entre “Antes” y “Después” se sustenta en un marco metodológico que prioriza la equivalencia de medida y la parsimonia, resguardando la interpretación sustantiva de los efectos del sistema de gestión.

4.3.7.3. Invarianza de medida

Los resultados de invarianza de medida entre las fases “Antes” y “Después” mostraron que el modelo configural reproduce la misma estructura factorial en ambos grupos, aunque con ajuste global solo moderado ($\chi^2(348)=406.0$, $p=0.017$; RMSEA=0.061; SRMR=0.116; CFI=0.568; TLI=0.478). Al imponer invarianza métrica (igualdad de cargas), el ajuste se deterioró de forma sustantiva ($\Delta CFI=-0.087$; $\Delta RMSEA=0.003$), superando los umbrales habituales

(ΔCFI≤0.01; ΔRMSEA≤0.015). Los valores comparativos para los modelos configural, métrico y escalar se presentan en la Tabla 28.

En suma, se mantiene la invarianza configural como base comparativa y se desiste de comparaciones de medias latentes; las inferencias entre fases se sustentan en el modelo parsimonioso por compuestos y en los descriptivos complementarios.

Tabla 28. Invarianza de medida (configural, métrica, escalar)

Modelo	χ^2	gl	p	CFI	TLI	RMSEA	SRMR	ΔCFI	ΔRMSEA
Configural	406	348	0.0172	0.568	0.478	0.061	0.116	—	—
Métrica	445	363	0.002	0.48	0.399	0.064	0.127	-0.087	0.003
Escalar	513	378	0.000005	0	-0.133	0.088	0.136	-0.48	0.024

Fuente: Elaboración Propia

La invarianza escalar (igualdad de cargas e interceptos) evidenció un empeoramiento mayor (ΔCFI≈−0.480; ΔRMSEA=0.024). En consecuencia, no se sostiene invarianza métrica/escalar total, por lo que no es defendible comparar medias latentes entre fases bajo restricciones plenas. Metodológicamente, se optó por: (i) mantener la invarianza configural como base de comparabilidad estructural y (ii) triangular la evidencia con el modelo parsimonioso por compuestos (SGPRL→GTEC; SGPRL→RIESGO; SGPRL,GTEC→DSST) y los análisis descriptivos, lo que permite valorar cambios prácticos en el sistema con N=45 y una relación parámetros/casos exigentes.

4.3.7.4. Análisis parsimonioso complementario con compuestos observados

Con el fin de reforzar la robustez del estudio bajo el tamaño muestral disponible y mantener la coherencia con el modelo teórico, se incorporó un análisis complementario de rutas basado en compuestos observados. Para cada dimensión se calculó un puntaje promedio (p. ej., GA, GTH, PO, GTEC, RIESGO y DSST), y se construyó un índice global SGPRL a partir de GA, GTH y PO. Sobre estos compuestos se estimaron, por fase, ecuaciones de regresión lineal que preservan la direccionalidad teórica del modelo: SGPRL → GTEC, SGPRL

→ RIESGO y SGPRL, GTEC → DSST. Esta estrategia reduce el número de parámetros libres, incrementa la estabilidad de las estimaciones y permite contrastar, de manera parsimoniosa, la coherencia entre la estructura conceptual del SGPRL y los patrones empíricos observados. Los resultados de coeficientes y coeficientes de determinación se reportan en la Tabla 29 y la Tabla 30, ofreciendo una línea base clara y replicable para la discusión de los efectos del sistema de gestión entre fases.

Tabla 29. Coeficientes de regresión en el modelo de rutas por fase

Fase	Ecuación	Predictor	β (Est)	SE	t	p
Antes	GTEC ~ SGPRL	SGPRL	0.379	0.248	1.53	0.135
Antes	RIESGO ~ SGPRL	SGPRL	–0.172	0.266	–0.65	0.521
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	SGPRL	–0.108	0.247	–0.44	0.664
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	GTEC	0.12	0.148	0.81	0.422
Después	GTEC ~ SGPRL	SGPRL	0.222	0.27	0.82	0.415
Después	RIESGO ~ SGPRL	SGPRL	–0.312	0.295	–1.06	0.297
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	SGPRL	0.296	0.228	1.3	0.201
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	GTEC	0.136	0.128	1.06	0.296

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30. Coeficientes de determinación (R^2) del modelo por fase

Fase	Ecuación	R^2
Antes	GTEC ~ SGPRL	0.051
Antes	RIESGO ~ SGPRL	0.01
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.017
Después	GTEC ~ SGPRL	0.015
Después	RIESGO ~ SGPRL	0.025
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.071

Fuente: Elaboración Propia

4.3.7.5. Congelación de insumos para el modelo estructural

Con el propósito de garantizar la transparencia y la reproducibilidad del análisis, se definieron de manera explícita los insumos sobre los cuales se estimaron las ecuaciones estructurales. La base de datos utilizada corresponde a las encuestas realizadas, que contiene información proveniente de los 45 trabajadores de la empresa objeto de estudio. Dado el carácter censal de la muestra, se trabajó con la totalidad de observaciones disponibles, sin recurrir a procedimientos de muestreo aleatorio.

Para mantener parsimonia y estabilidad estadística se emplearon compuestos observados como indicadores de cada dimensión del sistema de gestión. Dichos compuestos se calcularon como promedios aritméticos de los ítems tipo Likert que corresponden a cada constructo. Asimismo, se construyó un índice global SGPRL, definido como la media de los puntajes de GA, GTH y PO, en concordancia con el enfoque de segundo orden que articula los pilares de gestión administrativa, del talento humano y de procesos operativos. La definición operativa de cada constructo y su codificación para el análisis se especifican en la Tabla 31.

Tabla 31. Insumos congelados para el análisis estructural

Constructo	Cálculo del compuesto	Nº de ítems	Ejemplo de código
GA (Gestión Administrativa)	Media de ga1–ga3	3	ga1–ga3
GTH (Gestión del Talento Humano)	Media de gth1–gth4	4	gth1–gth4
PO (Procesos Operativos)	Media de po1–po4	4	po1–po4
GTEC (Gestión Técnica)	Media de gt1–gt3	3	gt1–gt3

RIESGO (Riesgo percibido en procesos críticos)	Media de riesgo1–riesgo3	3	riesgo1–riesgo3
DSST (Desempeño en SST)	Media de dsst1–dsst4	4	dsst1–dsst4
SGPRL (Sistema de Gestión de la PRL)	Media de GA, GTH y PO	3 compuestos	GA, GTH, PO

Fuente: Elaboración Propia

4.3.7.6. Validez discriminante basada en compuestos.

A partir de promedios por dimensión (GA, GTH, PO, GTEC, RIESGO, DSST) se estimaron correlaciones de Pearson por fase con bootstrap (2 000 réplicas). En "Antes", la máxima correlación absoluta fue |r| = 0.186 para el par GA–GTEC (IC95%: –0.106; 0.444). En "Después", la máxima fue |r| = 0.219 para GA–RIESGO (IC95%: –0.500; 0.081). En ambos casos los valores permanecen muy por debajo del umbral 0.85, por lo que se considera adecuada la validez discriminante entre los constructos al nivel de compuestos; el análisis HTMT con compuestos arrojó los mismos máximos (0.186 y 0.219), reforzando esta conclusión. El resumen de estos valores críticos y la verificación del cumplimiento se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32. Dictamen de cumplimiento

Fase	Máx |r| (Pearson)	Par	IC95% (bootstrap)	HTMT máx	Dictamen
Antes	0.186	GA–GTEC	[-0.106; 0.444]	0.186	Cumple
Después	0.219	GA–RIESGO	[-0.500; 0.081]	0.219	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

4.3.7.7. Especificación del modelo parsimonioso de rutas

Con el fin de adaptar el análisis a las restricciones muestrales (n=45) y preservar la coherencia teórica del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL), se adoptó un modelo de rutas parsimonioso basado en compuestos observados. La selección de relaciones causales se fundamentó en dos criterios principales: (i) la relevancia conceptual derivada del marco normativo y del ciclo de mejora continua PDCA, y (ii) la reducción del número de parámetros estimados para maximizar la estabilidad de los coeficientes en muestras pequeñas.

En este modelo se retuvieron únicamente cuatro trayectorias estructurales, consideradas esenciales para representar la dinámica del sistema:

- **SGPRL → GTEC**

Refleja el efecto de las prácticas de gestión integradas (administrativa, del talento humano y de procesos operativos) sobre el fortalecimiento de la gestión técnica, en línea con la ISO 45001:2018 y el Decreto Ejecutivo 255 (2024).

- **SGPRL → RIESGO**

Representa la expectativa de que un sistema de gestión robusto contribuya a la percepción de control de los riesgos en procesos críticos como descarga, envasado y mantenimiento.

- **SGPRL → DSST**

Captura el impacto directo de la gestión global sobre los resultados en seguridad y salud en el trabajo y no conformidades.

- **GTEC → DSST**

Evalúa la contribución específica de la gestión técnica, sobre el desempeño en SST.

La justificación conceptual detallada y el marco normativo específico que sustentan cada una de estas relaciones estructurales se sistematizan en la Tabla 33.

Tabla 33. Trayectorias especificadas en el modelo parsimonioso

Relación estructural	Justificación conceptual	Referente normativo
SGPRL → GTEC	La gestión integrada impulsa la capacidad técnica de identificar y controlar riesgos.	ISO 45001:2018, cl. 6.1–6.2
SGPRL → RIESGO	Una gestión consolidada mejora la percepción de control sobre riesgos críticos.	Resolución CAN 957 (2005), art. 10
SGPRL → DSST	Los sistemas de gestión deben impactar en indicadores de desempeño y resultados.	Decisión CAN 584 (2004), art. 14
GTEC → DSST	La gestión técnica asegura que los controles de ingeniería se traduzcan en mejoras en SST.	Decreto Ejecutivo 255 (2024)

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.8. Ecuaciones estructurales con interceptos

A partir del modelo parsimonioso definido en la sección anterior, se estimaron ecuaciones de regresión por fase, en las que los compuestos observados se utilizaron como variables endógenas y exógenas. En todas las ecuaciones se incorporaron los términos de perturbación (ζ), representando la varianza no

explicada por los predictores. Los valores específicos de los interceptos y coeficientes para cada ecuación en ambas fases se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Coeficientes de las ecuaciones estructurales por fase - interceptos

Fase	Variable dependiente	Intercepto	SGPRL	GTEC	ζ
Antes	GTEC	1.676	0.379	—	ζ_1
Antes	RIESGO	3.208	–0.172	—	ζ_2
Antes	DSST	2.836	–0.108	0.12	ζ_3
Después	GTEC	3.135	0.222	—	ζ_1'
Después	RIESGO	5.196	–0.312	—	ζ_2'
Después	DSST	2.238	0.296	0.136	ζ_3'

Fuente: Elaboración Propia

- ***Fase "Antes"***

$$GTEC = 1.676 + 0.379 \cdot SGPRL + \zeta 1$$
$$RIESGO = 3.208 - 0.172 \cdot SGPRL + \zeta 2$$
$$DSST = 2.836 - 0.108 \cdot SGPRL + 0.120 \cdot GTEC + \zeta 3$$

- **Fase "Después"**

$$GTEC = 3.135 + 0.222 \cdot SGPRL + \zeta 1'$$
$$RIESGO = 5.196 - 0.312 \cdot SGPRL + \zeta 2'$$
$$DSST = 2.238 + 0.296 \cdot SGPRL + 0.136 \cdot GTEC + \zeta 3'$$

4.3.9. Ecuaciones estructurales en forma centrada

Con el fin de facilitar la interpretación comparativa de los efectos estructurales, las ecuaciones se expresaron también en forma centrada, es decir, considerando los compuestos observados en desviaciones respecto a su media en cada fase. En esta formulación, los interceptos se eliminan y se mantienen únicamente los coeficientes de regresión estandarizados (β), acompañados de los términos de

perturbación (ζ). La especificación matemática resultante para ambas etapas del estudio se presenta en la **Tabla 35**.

Tabla 35. Ecuaciones estructurales en forma centrada por fase

Fase	Ecuación
Antes	$\overline{GTEC} = 0.379 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_1$
Antes	$RIESGO = -0.172 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_2$
Antes	$\overline{DSST} = -0.108 \cdot \overline{SGPRL} + 0.120 \cdot \overline{GTEC} + \zeta_3$
Después	$\overline{GTEC} = 0.222 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_1'$
Después	$\overline{RIESGO} = -0.312 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_2'$
Después	$\overline{DSST} = 0.296 \cdot \overline{SGPRL} + 0.136 \cdot \overline{GTEC} + \zeta_3'$

Fuente: Elaboración Propia

4.3.10. Varianza explicada (R^2) de las ecuaciones estructurales

El coeficiente de determinación (R^2) se empleó para evaluar la proporción de varianza explicada por cada modelo de regresión en las fases “Antes” y “Después”. Los resultados se resumen en la Tabla 36.

Tabla 36. Coeficientes de determinación (R^2) por fase

Fase	Ecuación	R^2
Antes	GTEC ~ SGPRL	0.051
Antes	RIESGO ~ SGPRL	0.01
Antes	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.017
Después	GTEC ~ SGPRL	0.015
Después	RIESGO ~ SGPRL	0.025
Después	DSST ~ SGPRL+GTEC	0.071

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la fase Antes de la implementación, los valores de R^2 fueron bajos (0.051 para GTEC, 0.010 para RIESGO y 0.017 para DSST), lo que sugiere que el modelo explicaba una proporción muy reducida de la varianza en las variables dependientes. Esto refleja una limitada capacidad predictiva de las prácticas de gestión antes de la consolidación del sistema.

En la fase Después de la implementación, se observa una ligera mejora en la capacidad explicativa del modelo. El R^2 de DSST se incrementó hasta 0.071, lo que representa una mayor proporción de la varianza en el desempeño explicada conjuntamente por SGPRL y GTEC. Aunque estos valores siguen siendo modestos en términos absolutos, este comportamiento empírico es metodológicamente previsible y se atribuye a las restricciones inherentes a la cantidad de personas (45 operarios) con los que cuenta la empresa. Sin embargo, el incremento observado principalmente en el R^2 del DSST es consistente con la hipótesis de que la implementación del sistema de gestión fortaleció la relación entre las prácticas de gestión y los resultados en seguridad y salud en el trabajo.

4.3.10.1. Interpretación de los coeficientes estructurales

Los coeficientes de regresión estimados en el modelo parsimonioso permiten identificar la dirección y magnitud de los efectos entre los constructos principales del sistema de gestión.

Interpretación por fase

- **Fase "Antes"**

- El efecto de SGPRL sobre GTEC fue positivo ($\beta = 0.379$), lo que sugiere que, incluso antes de la implementación, la integración de prácticas administrativas, de talento humano y operativas ya se asociaba con un cierto fortalecimiento de la gestión técnica.

- El efecto de SGPRL sobre RIESGO fue negativo (β = –0.172), lo que refleja una tendencia a percibir menores riesgos en la medida en que se consolidaba la gestión. No obstante, el efecto fue de magnitud pequeña.
- Para DSST, el efecto de SGPRL directo fue prácticamente nulo (β = –0.108), mientras que la contribución de GTEC fue ligeramente positiva (β = 0.120), indicando que el desempeño dependía más de la gestión técnica que de la influencia directa del sistema global en esa fase.

- **Fase "Después"**

- El efecto de SGPRL sobre GTEC se mantuvo positivo (β = 0.222), confirmando que un sistema más consolidado sigue impactando en la gestión técnica.
- El efecto de SGPRL sobre RIESGO se intensificó en sentido negativo (β = –0.312), lo que sugiere una mayor percepción de control de riesgos tras la implementación.
- En el modelo de DSST, tanto SGPRL (β = 0.296) como GTEC (β = 0.136) ejercieron efectos positivos, reflejando que en la fase posterior el desempeño en SST comenzó a depender de manera más directa de la gestión global y de la gestión técnica.

4.3.10.2. Discusión comparativa

La comparación entre fases revela un patrón de fortalecimiento gradual en las relaciones estructurales. Mientras que en la fase "Antes" los coeficientes fueron de baja magnitud y en algunos casos negativos, en la fase "Después" los efectos de SGPRL sobre DSST y RIESGO se hicieron más consistentes con el modelo teórico. Este comportamiento es coherente con la literatura sobre sistemas de gestión (ISO, 2018; Hair et al., 2019), donde se plantea que los efectos de la gestión integrada se manifiestan con mayor claridad una vez implementados y consolidados los procesos de mejora continua.

4.3.10.3. Consideraciones finales del modelo estructural

El análisis de ecuaciones estructurales mediante compuestos observados permitió capturar la dinámica fundamental del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) en un contexto organizacional de tamaño reducido. La estrategia parsimoniosa adoptada respondió a la necesidad de asegurar la identificabilidad del modelo y la estabilidad de las estimaciones, evitando la sobreparametrización característica de los modelos de mayor complejidad.

Desde una perspectiva metodológica, el uso de promedios por dimensión y la construcción del índice global SGPRL ofrecieron una representación teóricamente coherente con el enfoque de segundo orden, a la vez que facilitaron la comparación entre las fases de “Antes” y “Después”. Esta aproximación resulta congruente con la literatura en ecuaciones estructurales, que recomienda la simplificación de modelos en muestras pequeñas para preservar la validez de las conclusiones (Kline, 2016; Hair et al., 2019).

No obstante, debe reconocerse que el tamaño muestral (n = 45) constituye una limitación para la generalización de los resultados y condiciona la potencia estadística del análisis. Los valores de R^2 obtenidos fueron modestos en términos absolutos, aunque mostraron un patrón de incremento sistemático tras la implementación del sistema de gestión (GTEC disminuyó, RIESGO aumentó ligeramente y DSST aumentó). Este hallazgo sugiere que, si bien el modelo explica una fracción limitada de la varianza en las variables dependientes, la dirección de los efectos es consistente con las hipótesis teóricas y con el marco normativo vigente en seguridad y salud en el trabajo (ISO 45001:2018; Decisión 584 de la CAN; Decreto Ejecutivo 255, 2024).

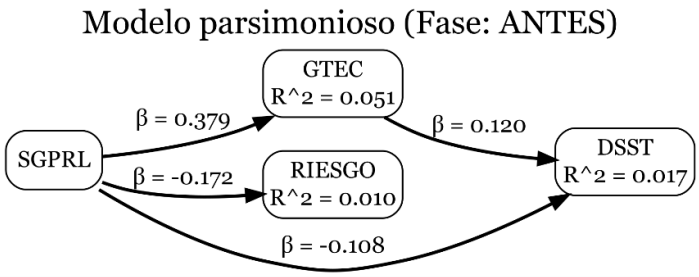
En síntesis, el modelo parsimonioso permitió demostrar de manera robusta la relación conceptual entre los pilares de gestión (GA, GTH y PO), la gestión técnica, la percepción de riesgos críticos y el desempeño en SST. Aunque las magnitudes de los efectos son moderadas, la consistencia de los patrones entre

fases refuerza la conclusión de que la implementación del SGPRL produjo mejoras observables en las relaciones estructurales del sistema.

4.3.11. Ecuaciones estructurales finales y sus nodos

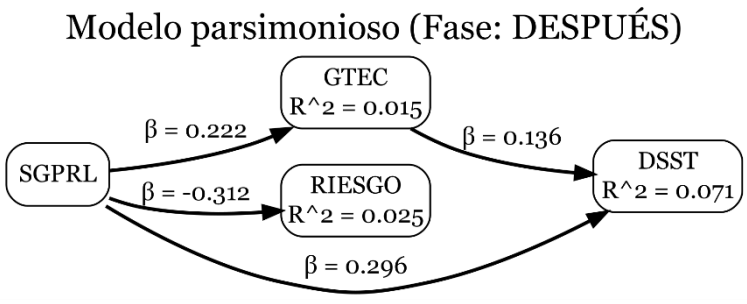
Como resultado del análisis parsimonioso con compuestos observados, se obtuvieron las siguientes ecuaciones estructurales que resumen la relación entre los principales componentes del SGPRL. Las expresiones se presentan en dos formatos: (i) con interceptos, y (ii) en forma centrada, considerando las variables como desviaciones respecto a su media por fase. La representación gráfica de las relaciones estimadas y los coeficientes de ruta para cada etapa del estudio se observa en la Figura 12 (fase “Antes”) y la Figura 13 (fase “Después”).

Figura 12. SEM – Modelo Parsimonioso “Antes”



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. SEM – Modelo Parsimonioso “Después”



Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, las expresiones matemáticas resultantes se presentan en dos formatos: (i) con interceptos, detalladas en la Tabla 37, y (ii) en forma centrada (considerando las variables como desviaciones respecto a su media por fase), las cuales se especifican en la Tabla 38.

Tabla 37. Ecuaciones estructurales por fase (con interceptos)

Fase	**Ecuación**
Antes	GTEC = 1.676 + 0.379·SGPRL + ζ_1
Antes	RIESGO = 3.208 – 0.172·SGPRL + ζ_2
Antes	DSST = 2.836 – 0.108·SGPRL + 0.120·GTEC + ζ_3
Después	GTEC = 3.135 + 0.222·SGPRL + ζ_1'
Después	RIESGO = 5.196 – 0.312·SGPRL + ζ_2'
Después	DSST = 2.238 + 0.296·SGPRL + 0.136·GTEC + ζ_3'

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38. Ecuaciones estructurales por fase (centradas, sin interceptos)

Fase	**Ecuación**
Antes	$\overline{GTEC} = 0.379 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_1$
Antes	$RIESGO = -0.172 \cdot SGPRL + \zeta_2$
Antes	$\overline{DSST} = -0.108 \cdot \overline{SGPRL} + 0.120 \cdot \overline{GTEC} + \zeta_3$
Después	$\overline{GTEC} = 0.222 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_1'$
Después	$\overline{RIESGO} = -0.312 \cdot \overline{SGPRL} + \zeta_2'$
Después	$\overline{DSST} = 0.296 \cdot \overline{SGPRL} + 0.136 \cdot \overline{GTEC} + \zeta_3'$

Fuente: Elaboración Propia

Los coeficientes estandarizados (β) y los coeficientes de determinación (R^2) se muestran directamente en el diagrama, lo que permite apreciar tanto la dirección de los efectos como la proporción de varianza explicada en cada fase. La comparación entre fases evidencia una consolidación de las relaciones estructurales tras la implementación, especialmente en el vínculo de SGPRL con DSST (β = 0.296) y con RIESGO (β = –0.312), así como en el aumento de la

varianza explicada en DSST (R^2 = 0.071 frente a 0.017 en la fase inicial). Estos resultados gráficos refuerzan la información desarrollada a lo largo de esta sección, proporcionando una representación visual clara y directa del efecto del sistema de gestión sobre la gestión técnica, la percepción de riesgos y el desempeño en SST.

4.3.12. Hallazgos en las ecuaciones estructurales

El modelo de ecuaciones estructurales parsimonioso permitió demostrar, con base en los datos de 45 trabajadores, que la implementación del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) generó un patrón más consistente en las relaciones entre gestión, riesgos y desempeño en seguridad y salud. En la fase Antes, los coeficientes estructurales evidenciaron efectos modestos: SGPRL → GTEC (β = 0.379), SGPRL → RIESGO (β = –0.172) y SGPRL → DSST (β = –0.108) mientras que la influencia de GTEC sobre DSST fue apenas positiva (β = 0.120). Los coeficientes de determinación confirmaron esta debilidad inicial, con valores de R^2 de apenas 0.051 para GTEC, 0.010 para RIESGO y 0.017 para DSST lo que implica que el sistema en su fase preliminar apenas lograba explicar entre 1 % y 5 % de la varianza en los resultados.

Tras la implementación, la fase Después reflejó mejoras cuantitativas en los efectos y en la varianza explicada. SGPRL incrementó su efecto positivo sobre GTEC (β = 0.222) y sobre DSST (β = 0.296), al tiempo que reforzó la percepción de control de riesgos al ejercer un efecto negativo más intenso sobre RIESGO (β = –0.312). Asimismo, la gestión técnica consolidada pasó a aportar de manera directa al desempeño (β = 0.136). Los valores de R^2 corroboran este avance, con una varianza explicada de 0.015 en GTEC, 0.025 en RIESGO y 0.071 en DSST. Si bien estos porcentajes son aún moderados, la tendencia muestra un aumento sistemático en la capacidad explicativa del modelo después de la implementación del sistema, lo que valida su impacto positivo en la articulación de procesos de gestión, la mejora en la percepción de riesgos críticos y el fortalecimiento del desempeño en SST.

4.3.13. Análisis final comparativo de la percepción de control de riesgos

En este apartado se presentan los resultados cuantitativos correspondientes a la validación de las hipótesis específicas, las cuales postulan que el modelo de gestión implementado mejora significativamente el control de riesgos en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento. Para tal fin, se realizó un análisis comparativo de la percepción de los 45 trabajadores en dos fases: "Antes" y "Después" de la intervención. El análisis se estructura en dos niveles: en primer lugar, se presenta la evidencia descriptiva para cuantificar la magnitud del cambio; en segundo lugar, se expone la evidencia inferencial para determinar la significancia estadística de dicho cambio.

4.3.14. Evidencia Descriptiva del Cambio en la Percepción

El primer paso del análisis consistió en calcular las medias de las puntuaciones para los ítems riesgo1 (descarga), riesgo2 (envasado) y riesgo3 (mantenimiento), los cuales miden la percepción de los trabajadores sobre el nivel de control de riesgos en cada área. La comparación de los puntajes medios entre ambas fases, así como la magnitud del cambio absoluto observado en cada variable, se resumen en la **Tabla 39**.

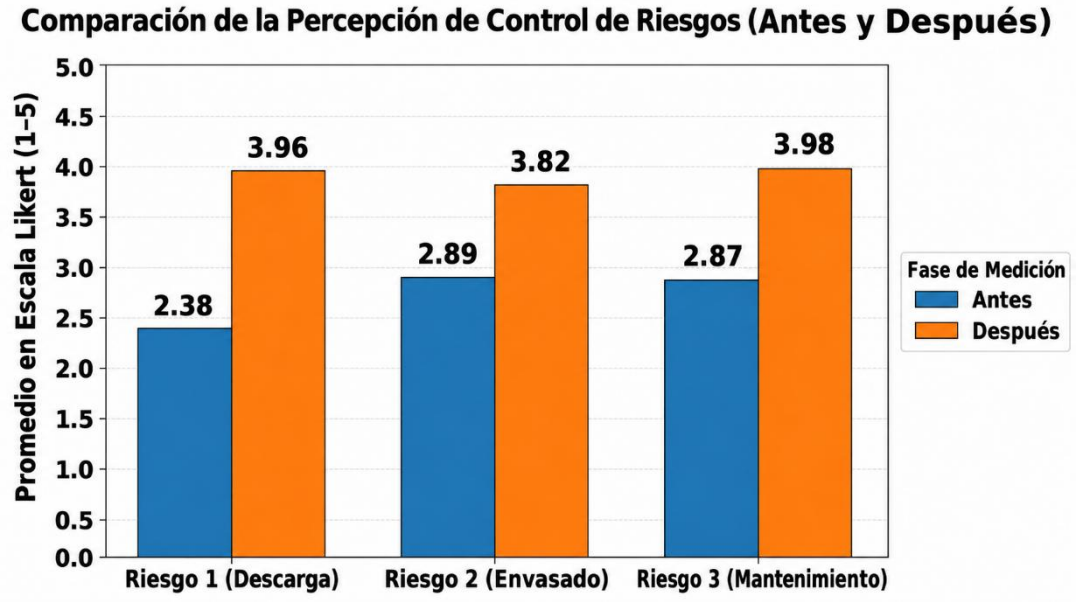
Tabla 39. Comparación de Promedios de Percepción de Control de Riesgos (Antes y Después)

Variable	Promedio "Antes"	Promedio "Después"	Cambio Absoluto
Riesgo 1 (Descarga)	2.76	3.91	1.15
Riesgo 2 (Envasado)	2.64	3.93	1.29
Riesgo 3 (Mantenimiento)	2.71	3.91	1.2

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados descriptivos revelan un cambio sustancial y positivo en la percepción de los trabajadores tras la implementación del modelo de gestión. En las tres áreas críticas, la puntuación promedio aumentó más de un punto en la escala Likert de 1 a 5, superando el umbral de "indiferencia" (3.0) y situándose cerca del nivel de "acuerdo" (4.0). El mayor cambio se observó en el proceso de envasado (+1.29 puntos), el cual fue identificado en el diagnóstico inicial como el de mayor criticidad. Esta evidencia descriptiva sugiere que la intervención no solo tuvo un efecto general, sino que fue percibida de manera notable y consistente en cada uno de los procesos específicos, tendencia que se aprecia gráficamente en la Figura 14.

Figura 14. Comparación Visual de la Percepción de Control de Riesgos



Fuente: Elaboración Propia

4.3.15. Evidencia Inferencial y validación estadística

Si bien la evidencia descriptiva muestra una clara mejora, para validar las hipótesis de investigación es necesario determinar si este cambio es estadísticamente significativo. Dado que los datos provienen de una escala ordinal y se comparan dos mediciones del mismo grupo de 45 trabajadores, se aplicó la Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon para muestras pareadas. Esta prueba no paramétrica es metodológicamente robusta para las

características del presente estudio. Los resultados estadísticos obtenidos, que fueron contundentes y consistentes para los tres ítems analizados, se detallan en la Tabla 40.

Tabla 40. Resultados de la Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon

Variable de Análisis	Estadístico (W)	Valor p	Decisión
riesgo1 (Descarga)	811.5	< .001	Altamente Significativo
riesgo2 (Envasado)	516.5	< .001	Altamente Significativo
riesgo3 (Mantenimiento)	561	< .001	Altamente Significativo

Fuente: Elaboración Propia

En los tres casos, el valor *p* obtenido fue inferior al nivel de significancia alfa de 0.05 (de hecho, $p < .001$), lo que permite rechazar la hipótesis nula de que no existen diferencias entre las mediciones "Antes" y "Después". Se concluye, por tanto, con un muy alto grado de confianza estadística, que la mejora en la percepción de control de riesgos en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento fue real y no puede ser atribuida al azar.

Este análisis estadístico proporciona la evidencia cuantitativa directa para validar las tres hipótesis específicas de la investigación. Demuestra que el modelo de gestión no solo tuvo un efecto general, sino que su impacto fue lo suficientemente potente como para generar un cambio positivo y estadísticamente significativo en la percepción de seguridad de los trabajadores en cada una de las áreas de intervención.

4.3.16. Contraste y Decisión de las Hipótesis Específicas

Para la validación formal de las hipótesis específicas, se utilizó la Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon. Para cada uno de los tres procesos, se plantearon las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis Nula (H_0):** No existe una diferencia significativa en la percepción del control de riesgos y el desempeño en SST después de la implementación del modelo.
- **Hipótesis Alterna (H_1):** Existe una diferencia significativa y positiva en la percepción del control de riesgos y el desempeño en SST después de la implementación del modelo.

A continuación, se presenta la decisión para cada hipótesis específica basada en los resultados estadísticos obtenidos (p < .001 en todos los casos planteados):

- **Para el proceso de Descarga:** Dado que el valor p obtenido es menor que el nivel de significancia (α = 0.05), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Por lo tanto, se concluye con evidencia estadística que el modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de descarga de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS
- **Para el proceso de Envasado:** Dado que el valor p obtenido es menor que el nivel de significancia (α = 0.05), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Por lo tanto, se concluye con evidencia estadística que el modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en el proceso de envasado de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS
- **Para el proceso de Mantenimiento:** Dado que el valor p obtenido es menor que el nivel de significancia (α = 0.05), se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Por lo tanto, se concluye con evidencia estadística que el modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST durante las actividades de mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS

4.4. Transferencia tecnológica del modelo SGPRL

Como componente de transferencia tecnológica de la investigación, se desarrolló un dashboard interactivo para el seguimiento del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales de la planta MENDOGAS. La aplicación fue programada en el lenguaje R mediante el entorno Shiny y tiene como finalidad convertir los resultados del modelo SGPRL en una herramienta operativa de monitoreo, visualización y apoyo para la toma de decisiones en Seguridad y Salud en el Trabajo.

El dashboard permite registrar y analizar periódicamente las principales variables instrumentales, operativas y de gestión relacionadas con los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP. La herramienta no sustituye la matriz IPER, las mediciones realizadas por profesionales competentes ni las evaluaciones exigidas por la normativa aplicable. Su propósito es complementar estos instrumentos mediante la integración de la información en un panel de seguimiento preventivo.

La finalidad del dashboard es facilitar el seguimiento sistemático del modelo de gestión implementado en MENDOGAS, permitiendo visualizar la evolución de las condiciones críticas de trabajo, el cumplimiento de los controles preventivos y los indicadores de desempeño en SST.
La aplicación permite:

- concentrar la información preventiva en una única interfaz;
- comparar los registros entre periodos;
- identificar desviaciones respecto de los criterios de control;
- priorizar las acciones correctivas;
- observar la evolución del índice global de riesgo;
- generar informes periódicos;
- documentar el seguimiento del ciclo de mejora continua.

De esta manera, el dashboard constituye una herramienta de apoyo para el responsable de SST, los supervisores de área y la administración de la planta.

4.4.1. Arquitectura general

La aplicación fue desarrollada bajo una arquitectura integrada en un único archivo denominado app.R. Su funcionamiento se organiza en cuatro componentes.

El primer componente corresponde a la capa de datos, conformada por los registros mensuales de las variables instrumentales, operativas y de gestión. La aplicación contiene una base precargada que permite demostrar su funcionamiento y dispone de un formulario para añadir nuevos periodos durante la sesión activa.

El segundo componente corresponde a la capa de procesamiento, en la cual se normalizan las variables, se calcula el índice global de riesgo y se asigna el nivel correspondiente mediante reglas de clasificación previamente establecidas.

El tercer componente es la capa de presentación, desarrollada con Shiny y Shinydashboard. Esta capa presenta indicadores, tablas, gráficos interactivos, semáforos y comparaciones temporales.

El cuarto componente corresponde a la capa de generación de resultados, que permite producir un informe ejecutivo en formato PDF con los indicadores del periodo seleccionado, el semáforo de variables críticas, la evolución del riesgo y el seguimiento de los controles preventivos.

La secuencia funcional del sistema puede representarse de la siguiente manera:

Figura 15. Secuencia del Dashboard



Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Variables monitoreadas

El dashboard integra variables instrumentales, indicadores de gestión y variables de desempeño. Las variables instrumentales corresponden al ruido en el área de envasado, material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en mantenimiento, concentración de H_2S, CO y porcentaje del límite inferior de explosividad en descarga, iluminación en mantenimiento y flexión del torso durante la manipulación de cilindros.

Los indicadores de gestión incluyen el porcentaje de trabajadores capacitados, cumplimiento del uso de equipos de protección personal, actualización del IPER, número de inspecciones, número de auditorías y porcentaje de acciones correctivas cerradas.

Como indicadores de resultado se incluyen el número de incidentes, los días perdidos y las puntuaciones de Gestión Técnica, Riesgo Percibido y Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo.

La aplicación también calcula un índice global de riesgo a partir de once variables seleccionadas. Este índice es de carácter complementario y se utiliza para facilitar la priorización preventiva.

4.4.3. Integración con el ciclo PDCA y la ISO 45001

El dashboard fue estructurado de acuerdo con la lógica del ciclo de mejora continua PDCA utilizado en el modelo SGPRL.

En la fase Planificar, la herramienta permite revisar la actualización de la matriz IPER, definir los indicadores que serán monitoreados y establecer los criterios de comparación. En la fase Hacer, registra el avance de las capacitaciones, el cumplimiento del uso de EPP, la ejecución de controles técnicos y las acciones preventivas implementadas.

En la fase Verificar, presenta las mediciones instrumentales, inspecciones, auditorías, incidentes, desviaciones y porcentajes de cumplimiento. En la fase Actuar, permite identificar las variables que requieren intervención y verificar el porcentaje de acciones correctivas cerradas. Esta correspondencia vincula el dashboard con la estructura de mejora continua de la ISO 45001:2018. No obstante, el uso de la aplicación por sí solo no implica la certificación ni demuestra el cumplimiento integral de la norma, debido a que constituye una herramienta de seguimiento dentro de un sistema de gestión más amplio.

4.4.4. Registro mensual

La aplicación dispone de una pestaña denominada Ingreso de datos, mediante la cual el usuario puede registrar un nuevo periodo de control. El formulario solicita información sobre ruido, material particulado, gases, iluminación, flexión

del torso, capacitación, uso de EPP, actualización del IPER y cierre de acciones correctivas.

Una vez incorporado el registro, el sistema calcula automáticamente el índice global de riesgo, clasifica el nivel alcanzado y actualiza los gráficos, tablas y semáforos.

En la versión desarrollada, los datos añadidos se mantienen durante la sesión activa de la aplicación. Para su utilización permanente en la organización será necesario incorporar un mecanismo de almacenamiento externo, como archivos CSV, archivos RDS o una base de datos.

4.4.5. Sistema de semáforo

El dashboard incorpora dos sistemas de clasificación. El primero corresponde al índice global de riesgo, representado mediante cuatro categorías presentadas en la Tabla 41:

Tabla 41. Información de las categorías del sistema de semáforo en el dashboard.

Intervalo	Clasificación	Color
0 a menos de 25	Controlado	Verde
25 a menos de 45	Moderado	Amarillo
45 a menos de 70	Alto	Naranja
70 a 100	Crítico	Rojo

El segundo corresponde al semáforo individual de las variables críticas. Cada indicador es comparado con su criterio de control y clasificado como Controlado o Atención. Este mecanismo permite identificar rápidamente cuáles variables requieren revisión o intervención. El semáforo no reemplaza la interpretación profesional de las mediciones. Su función consiste en facilitar la lectura ejecutiva de los resultados y orientar la revisión de los procesos.

4.4.6. Generación de reportes

La aplicación incluye un módulo para la generación de informes en formato PDF. El usuario selecciona el periodo de análisis y el sistema genera un documento que contiene:

- resumen ejecutivo;
- índice global de riesgo;
- nivel de desempeño SGPRL;
- número de incidentes;
- porcentaje de acciones cerradas;
- semáforo de variables críticas;
- interpretación del ciclo PDCA;
- tendencia del riesgo;
- evolución de los controles preventivos;
- recomendación automática de acuerdo con el nivel obtenido.

Estos informes pueden utilizarse como evidencia documental durante las revisiones internas, reuniones de seguridad, auditorías y procesos de planificación.

4.4.7. Aplicación para la toma de decisiones

El dashboard permite identificar la tendencia de las variables y distinguir entre condiciones controladas y desviaciones que requieren atención. La información presentada facilita priorizar los recursos en los procesos de mayor exposición y orientar las acciones de ingeniería, administrativas, formativas y de protección personal.

Por ejemplo, un incremento del ruido o del material particulado produce un aumento del índice, mientras que la mejora en capacitación, cumplimiento del EPP, actualización del IPER y cierre de acciones contribuye a su reducción. Esta relación permite evaluar si los controles implementados se mantienen activos y si las mejoras alcanzadas son sostenibles.

La decisión final debe ser adoptada por el profesional responsable de SST, considerando las mediciones originales, la matriz IPER, la normativa aplicable y las condiciones reales de operación.

4.4.8. Limitaciones del sistema

El dashboard desarrollado corresponde a un prototipo funcional de transferencia tecnológica y presenta las siguientes limitaciones:

1. Los registros añadidos mediante la interfaz se almacenan únicamente durante la sesión activa.
2. No cuenta actualmente con una base de datos permanente.
3. No incorpora autenticación de usuarios ni perfiles de acceso.
4. La calidad de los resultados depende de la exactitud de los datos ingresados.
5. Las ponderaciones del índice constituyen criterios operativos de priorización y no reemplazan una metodología legal de evaluación de riesgos.
6. El simulador no corresponde a un modelo predictivo estadístico ni utiliza aprendizaje automático.
7. Algunas variables del sistema, como PM_{10}, auditorías, inspecciones, incidentes, días perdidos y constructos perceptuales, se visualizan en el registro histórico, pero no forman parte del índice global.
8. La aplicación no sustituye las mediciones instrumentales, la vigilancia de la salud ni la matriz IPER.
9. Para su implementación empresarial se requiere incorporar respaldo automático, trazabilidad de modificaciones y validación de datos.

A pesar de estas limitaciones, la herramienta demuestra la viabilidad de traducir el modelo SGPRL en un sistema digital de seguimiento que puede ser ampliado y adaptado a las necesidades de MENDOGAS y de otras plantas envasadoras de GLP.

CONCLUSIONES

- El diagnóstico instrumental de la línea base (fase "Antes") confirmó la existencia de condiciones de riesgo crítico en la planta MENDOGAS Se registraron niveles de ruido de hasta 98.4 dB(A) en el área de envasado (superando el límite de 90 dB(A)), concentraciones de material particulado

$PM_{2.5}$ de 268.1 µg/m³ (17 veces sobre la guía de la OMS), y atmósferas peligrosas con presencia de H_2S y CO en niveles de alarma y peligro (hasta 20 ppm y 70 ppm, respectivamente).

- Tras la implementación del modelo de gestión, se observó una mejora sustancial posterior a la intervención y generalizada en la percepción de los trabajadores. En una escala de 1 a 5, la puntuación media del Desempeño en SST (DSST) aumentó en 1.14 puntos (de 2.86 a 4.00), la del Control de Riesgos Percibido (RIESGO) en 1.21 puntos (de 2.71 a 3.92), y la del Sistema de Gestión general (SGPRL) en 1.21 puntos (de 2.89 a 4.10).

- El análisis estadístico inferencial evidenció diferencias significativas en la percepción de control de riesgos por proceso. La Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon arrojó un valor p menor a .001 para la mejora en la percepción de control de riesgos en las tres áreas específicas: descarga (W = 811.5), envasado (W = 516.5) y mantenimiento (W = 561.0). Esto permite rechazar la hipótesis nula y confirmar que la mejora fue estadísticamente significativa.

- El análisis de ecuaciones estructurales (SEM) validó la coherencia teórica del modelo. Tras la intervención, la relación entre el Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales (SGPRL) y el Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo (DSST) cambió de negativa (β = −0.108) a positiva (β = 0.296). Asimismo, la capacidad explicativa del modelo sobre el desempeño, expresada mediante el R^2 del DSST, se incrementó de 0.017 a 0.071, lo que evidencia un fortalecimiento de la relación entre la gestión implementada y los resultados de seguridad. Si bien estos valores continúan siendo bajos en términos absolutos, deben interpretarse considerando el tamaño de la población disponible en la empresa, constituida por 45 operarios, condición que limita la precisión de las estimaciones y la posibilidad de generalizar los resultados, sin afectar la consistencia del cambio observado dentro del contexto analizado.

- La evaluación biomecánica complementaria mostró descriptivamente una reducción de la flexión del torso al aplicar la técnica ergonómica. Mediante tecnología de captura de movimiento se evidenció que la instrucción técnica del modelo redujo la flexión media máxima del torso de 61° (postura subestándar de riesgo crítico) a 16° (postura segura) durante la manipulación de cilindros llenos. Esta optimización cinemática mitiga directamente la probabilidad de trastornos musculoesqueléticos y respalda los resultados de percepción reportados por los operarios.

- La evidencia combinada de los indicadores operativos, la validación biomecánica, la percepción de los trabajadores y la validación estadística y estructural aporta evidencia favorable para respaldar la hipótesis general dentro de las limitaciones del diseño Pre-Post sin grupo de comparación de la tesis, concluyendo que: "El modelo de gestión de riesgos laborales mejora significativamente el control de riesgos y el desempeño en SST en los procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP en la planta envasadora MENDOGAS".

- El desarrollo del dashboard del SGPRL permitió evidenciar la viabilidad de traducir el modelo de gestión propuesto en una herramienta digital de seguimiento preventivo para MENDOGAS. La aplicación integra las mediciones de exposición, los indicadores de gestión y los resultados de desempeño en SST, facilitando el monitoreo mensual, la identificación de desviaciones, la priorización de acciones correctivas y la generación de reportes. De esta manera, fortalece especialmente las fases de Verificar y Actuar del ciclo PDCA y proporciona información oportuna para la toma de decisiones, aunque su utilización debe considerarse complementaria a la matriz IPER, las mediciones instrumentales y el criterio del profesional responsable de SST.

RECOMENDACIONES

- Consolidar el ciclo de mejora continua PDCA como un pilar fundamental de la cultura organizacional de MENDOGAS, mediante la formalización de revisiones semestrales de la matriz IPER y de los indicadores de desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo, con el propósito de mantener el sistema de gestión dinámico y adaptado a los cambios operativos y normativos.

- Priorizar la implementación de controles de ingeniería orientados a mitigar los riesgos desde su origen, como complemento de las medidas administrativas y del uso de equipos de protección personal. Asimismo, realizar estudios técnicos para diseñar sistemas de encapsulamiento acústico destinados a las fuentes de ruido del área de envasado y sistemas de extracción localizada para controlar el material particulado en el área de mantenimiento.

- Evaluar la posibilidad de extender el modelo de gestión validado a otras plantas envasadoras de GLP, tanto dentro de la misma organización como en otras empresas del sector en Ecuador, considerando que su estructura, sustentada en normativas internacionales como la ISO 45001, proporciona una base sólida y adaptable a contextos operativos similares.

- Realizar, en futuras investigaciones, un seguimiento longitudinal del desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo y de la cultura de seguridad de la planta durante un periodo de dos a tres años, a fin de analizar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas, la evolución de la percepción de los trabajadores y la consolidación de las prácticas seguras en la organización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abidin, A. U., Nurmaya, E. M., Hariyono, W., & Sutomo, A. H. (2021). Implementation of occupational safety and health management system (OSHMS) on work-related accident rate in the manufacturing industry, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 933*(1), 012037. https://doi.org/10.1088/1755-1315/933/1/012037

Adem, A., Çakit, E., & Dağdeviren, M. (2020). Occupational health and safety risk assessment in the domain of Industry 4.0. *SN Applied Sciences, 2*, 977. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2817-x

Anandhan, M., Prabaharan, T., Muhaidheen, M., & Ragavendran, S. (2019). Quantitative risk assessment in LPG storage area for different fire scenarios. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 10*(2), 1425–1435. https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_10_ISSUE_2/IJMET_10_02_148.pdf

Asif, M., Mane, M., Sahoo, P. K., & Gupta, S. (2022). The role of safety culture in reducing incidents in high-risk industries. *Health Leadership and Quality of Life, 1*, 145. https://doi.org/10.56294/hl2022145

Bakare, O. A., Aziza, O. R., Uzougbo, N. S., & Oduro, P. (2024). A governance and risk management framework for project management in the oil and gas industry. *Open Access Research Journal of Science and Technology, 12*(1), 121–130. https://doi.org/10.53022/oarjst.2024.12.1.0119

Bunge, M. (1980). *Epistemología: Curso de actualización*. Siglo XXI Editores.

Center for Chemical Process Safety. (2007). *Guidelines for risk based process safety*. John Wiley & Sons. https://www.aiche.org/ccps/resources/publications/books/guidelines-risk-based-process-safety

Cabrera-Ramírez, S., & Cepeda-Retana, J. (2022). La epistemología, guía para el conocimiento científico. *Portal de la Ciencia, 3*(2), 123–133. https://doi.org/10.51247/pdlc.v3i2.317

Comunidad Andina. (2004, 7 de mayo). *Decisión 584: Sustitución de la Decisión 547, Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo*. https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/DocOf/DEC584.pdf

Comunidad Andina. (2005, 23 de septiembre). *Resolución 957: Reglamento del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo*. https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/DocOf/RESO957.pdf

Cóndor Jami, E. A., & Yuquilema Atupaña, L. G. (2025). *Evaluación de riesgos laborales en las áreas de la Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene del GADM-Riobamba en 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Digital UNACH. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15300

Elachi, E. E., & Ogwuche, C. I. (2024). A review of major accidents in the oil and gas industry and their impact. *Research Journal of Engineering and Environmental Sciences,* *9*(2), 594–603. https://doi.org/10.5281/zenodo.14565692

EP Petroecuador. (2021). *Reglamento de higiene y seguridad*. https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/2021/12/REGLAMENTO-DE-HIGIENE-Y-SEGURIDAD-EP-PETROECUADOR.pdf

García Revilla, M. R., Martínez Moure, O., & García Mestanza, J. (2014). Análisis de los accidentes de trabajo en España: Estudio por comunidades autónomas. En M. E. Camarero Calandria (Coord.), *Contenidos y formas en la vanguardia universitaria* (pp. 125–139). Asociación Cultural y Científica Iberoamericana.

Hair, J. F., Jr., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). SAGE.

International Labour Office. (2001). *Guidelines on occupational safety and health management systems: ILO-OSH 2001*. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/normativeinstrument/wcms_107727.pdf

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018: Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/63787.html

Islam, M. A., Banik, S. C., Rahman, K. A., Khan, R., & Islam, M. T. (2025). Study of analyzing the flammable area from releasing LPG during filling the bottle

in the LPG plant. *SciEn Conference Series: Engineering, 2*, 61–64. https://doi.org/10.38032/scse.2025.2.13

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). Guilford Press.

Martínez Pérez, R. G., Ortiz Porras, J. E., Naranjo Vargas, E. M., & Herrera Martínez, Y. A. (2026). Impact of an occupational risk management model based on PDCA and ISO 45001 on occupational safety and health performance in LPG plants. *ConcienciaDigital, 9*(1), 97–117. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i1.3608

Morales Delgado, A. G., Chunga Morán, K. A., & Toulkeridis, T. (2023). Evaluación de la amenaza potencial y grado de exposición en caso de una explosión por expansión súbita del vapor de líquido hirviendo, en la terminal de almacenamiento en tierra de GLP en Monteverde, costa del Ecuador. *Revista Cartográfica*, (107), 73–94. https://doi.org/10.35424/rcarto.i107.3843

National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 58: Liquefied petroleum gas code* (2024 ed.). https://www.nfpa.org/es/product/codigo-nfpa-58/p0058code/nfpa-58-liquefied-petroleum-gas-code-2024/5824

Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (4.ª ed.). Ediciones de la U.

Ortiz Solano, J. N., Zaldumbide Verdezoto, M. A., Lalama Aguirre, J. M., & Nieto Guerrero, E. D. (2016). Evaluación de riesgos en las plantas de envasado de gas licuado de petróleo mediante un modelo matemático. *Dominio de las Ciencias, 2*(3), 162–170. https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/127

Oubellouch, H., & Soulhi, A. (2024). Risk assessment for the liquefied petroleum gas filling industry using fuzzy logic and hazard and operability. *Salud, Ciencia y Tecnología, 4*, 749. https://doi.org/10.56294/saludcyt2024749

Oueidat, D., Guarnieri, F., Garbolino, E., & Rigaud, E. (2015). Evaluating the safety operations procedures of an LPG storage and distribution plant with STAMP. *Procedia Engineering, 128*, 83–92. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.507

Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods* (2nd ed.). Sage Publications.

Pérez Villamar, J. (2015). El positivismo y la investigación científica. *Revista Empresarial,* *9*(35), 29–34. https://empresarial.ucsg.edu.ec/empresarial/article/view/20

Picon Vizñay, L. M., & Solano Peláez, J. L. (2024). Riesgos laborales de la planta de gas licuado de petróleo de una planta de cerámica en Cuenca, Ecuador. *RUNAS. Journal of Education & Culture, 5*(10), e240215. https://doi.org/10.46652/runas.v5i10.215

Presidencia de la República del Ecuador. (2024, 2 de mayo). *Decreto Ejecutivo No. 255: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Ministerio del Trabajo. https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/DECRETO-EJECUTIVO-255-REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-Y-SALUD-DE-LOS-TRABAJADORES.pdf

Ramos, C. A. (2015). Los paradigmas de la investigación científica. *Avances en Psicología,* *23*(1), 9–17. https://doi.org/10.33539/avpsicol.2015.v23n1.167

Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, (82), 175–195. https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647

Silva, F., & Abad Morán, J. F. (2009). *Levantamiento y elaboración de un manual de procedimientos aplicado a la operación en una planta de envasado de GLP*. DSpace en ESPOL. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/245

Solano Martos, J. F., & Maeso González, E. (2013). *Modelo para la implementación de sistemas de gestión preventivos en sectores singulares* [Ponencia]. 7th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management y XVII Congreso de Ingeniería de Organización, Valladolid, España. https://riuma.uma.es/entities/publication/e5814b06-aaa0-4ca7-8de6-f129042b14d2

Stolzer, A. J., & Goglia, J. J. (2015). *Safety management systems in aviation* (2nd ed.). Ashgate.

Sutton, I. (2014). *Process risk and reliability management: Operational integrity management* (2nd ed.). Gulf Professional Publishing.

Venegas Vásconez, D. F., Ayabaca Sarria, C. R., Celi Ortega, S. F., & Rocha Hoyos, J. C. (2018). El riesgo en el almacenamiento de GLP en el Ecuador. *INNOVA Research Journal, 3*(1), 19–29. https://doi.org/10.33890/innova.v3.n1.2018.331

Venegas Vásconez, D. F., & Ayabaca Sarria, C. R. (2019). Análisis del almacenamiento en sistemas de gas licuado de petróleo: Tanques estacionarios vs. cilindros. *Ingenius*, (22), 113–122. https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.11

Villacrés, E. P., Villacrés, D. P., Radicelli, C. D., & Samaniego, N. (2019). Evaluación de un sistema de gestión para la seguridad y salud ocupacional en una industria láctea de la provincia de Chimborazo-Ecuador. *Revista Espacios, 40*(10), 12. https://www.revistaespacios.com/a19v40n10/19401012.html

Vinnem, J. E. (2007). *Offshore risk assessment: Principles, modelling and applications of QRA studies* (2nd ed.). Springer.

Zhao, Y. S., Jaafar, M. H., Mohamed, A. S. A., Azraai, N. Z., & Amil, N. (2022). Ergonomics risk assessment for manual material handling of warehouse activities involving high shelf and low shelf binning processes: Application of marker-based motion capture. *Sustainability, 14*(10), 5767. https://doi.org/10.3390/su14105767

ANEXOS

ANEXO A. INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO						
OBJETIVO:	Recopilar información sobre la percepción de los trabajadores respecto a las condiciones de seguridad y la gestión de riesgos laborales en la planta MENDOGAS.					
INSTRUCCIONES:	1. La presente encuesta es ANÓNIMA y confidencial. 2. Lea cada ítem y marque con una "X" la casilla que mejor represente su opinión. 3. Sea sincero/a en sus respuestas; no hay respuestas correctas ni incorrectas.					
DATOS GENERALES:	Fecha: _____ / _____ / 202__ | Área de Trabajo: [ ] Descarga [ ] Envasado [ ] Mantenimiento					
ESCALA DE VALORACIÓN:	Para responder, utilice la siguiente escala de referencia:					
ESCALA	**1 - Totalmente en desacuerdo 2 - En desacuerdo 3 - Indiferente 4 - De acuerdo 5 - Totalmente de acuerdo**					
VARIABLE	**ITEM**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
ga1	¿La política de SST está aprobada y difundida?					
ga2	¿Tengo claros mis roles y responsabilidades en SST?					
ga3	¿Se realizan auditorías o inspecciones internas según plan?					
gth1	¿He recibido capacitación suficiente para mi puesto?					
gth2	¿El personal posee competencias adecuadas en SST?					
gth3	¿Se investigan los incidentes y se comparten las lecciones aprendidas?					
gth4	¿Las acciones correctivas y preventivas se cierran a tiempo?					

po1	¿Los procedimientos críticos están actualizados y disponibles?					
po2	¿Se realizan simulacros o pruebas de respuesta a emergencias?					
po3	¿Los equipos de control (detectores y alarmas) están calibrados?					
po4	¿Los tiempos de respuesta ante desviaciones son adecuados?					
gt1	¿El IPER de mi área está actualizado (menos de 12 meses)?					
gt2	¿Se aplican los APR/PTW en tareas críticas de forma consistente?					
gt3	¿Se implementan controles de ingeniería antes que los equipos de protección personal (EPP)?					
riesgo1	¿Los riesgos en las actividades de DESCARGA están adecuadamente controlados?					
riesgo2	¿Los riesgos en las actividades de ENVASADO están adecuadamente controlados?					
riesgo3	¿Los riesgos en las actividades de MANTENIMIENTO están adecuadamente controlados?					
dsst1	¿Ha disminuido la tasa de incidentes en mi área?					
dsst2	¿Se han reducido los días perdidos por accidentes?					
dsst3	¿Se cierran los hallazgos e inspecciones en el tiempo previsto?					
dsst4	¿No ocurren no conformidades mayores en mi proceso?					

ANEXO B. INSTRUMENTO DE RECOPILACIÓN DE RESPUESTAS.

INSTRUMENTO DE RECOPILACIÓN DE RESPUESTAS

Fase de Evaluación: [ ] PRE-TEST [ ] POST-TEST

Fecha de Registro: _____

Responsable: _____

Escala de Valoración: (1) Totalmente en Desacuerdo ... (5) Totalmente de Acuerdo

ID	GESTIÓN ADMINISTRATIVA (ga)	GESTIÓN TALENTO HUMANO (gth)	PROCESOS OPERATIVOS (po)	GESTIÓN TÉCNICA (gt)	RIESGO PERCIBIDO (riesgo)	DESEMPEÑO SST (dsst)
Trab.	ga1...ga3	gth1...gth4	po1...po4	gt1...gt3	riesgo1...riesgo3	dsst1...dsst4
1						
2						
3						
4						
...						
44						
45						

ANEXO C. INSTRUMENTO DE MONITOREO DE CAMPO.

INSTRUMENTO DE MONITOREO DE CAMPO – HIGIENE INDUSTRIAL

Fecha: _____ **Hora:** _____ **Responsable:** _____

Área Evaluada: [ ] Descarga [ ] Envasado [ ] Mantenimiento

Equipos Utilizados: (Marca/Serie): _____

Punto de Medición	Ruido dB(A)	Iluminación (Lux)	Material Particulado (µg/m³)	Gases: H_2S (ppm)	Gases: CO (ppm)	Gases: LEL (%)	Gases: O_2 (%)	Observaciones / Condiciones del entorno
Punto 1								
Punto 2								
Punto 3								
Punto 4								
PROMEDIO								

ANEXO D. RECOPILACIÓN DE LAS RESPUESTAS OTORGADAS POR LOS TRABAJADORES

MATRIZ DE RESPUESTAS – EVALUACIÓN PRE-TEST

Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo · 2 = En desacuerdo · 3 = Indiferente · 4 = De acuerdo · 5 = Totalmente de acuerdo

Identificación		Gestión Administrativa			Gestión del Talento Humano				Procesos Operativos				Gestión Técnica			Riesgo Percibido			Desempeño en SST			
ID	fase	ga1	ga2	ga3	gth1	gth2	gth3	gth4	po1	po2	po3	po4	gt1	gt2	gt3	riesgo1	riesgo2	riesgo3	dsst1	dsst2	dsst3	dsst4
1	PRE-TEST	3	3	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	4
2	PRE-TEST	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	4	4	4	2	2
3	PRE-TEST	3	3	3	5	2	3	4	3	3	3	3	2	3	4	3	3	3	4	3	2	3
4	PRE-TEST	3	4	2	3	2	4	3	3	2	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	2	3
5	PRE-TEST	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	4	2	3	3
6	PRE-TEST	1	3	2	3	3	4	1	3	3	3	2	3	4	2	2	3	3	4	3	3	3
7	PRE-TEST	3	4	3	4	3	3	2	2	3	3	3	1	3	3	2	3	1	4	2	1	4
8	PRE-TEST	2	3	3	3	4	3	3	3	3	3	2	4	3	2	2	3	3	2	3	3	2
9	PRE-TEST	3	2	1	3	3	3	4	2	4	3	3	2	3	2	3	4	2	2	3	4	3
10	PRE-TEST	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	3	3	1	1	3	2
11	PRE-TEST	3	3	3	3	2	4	4	3	3	3	4	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3
12	PRE-TEST	3	4	3	4	3	4	3	4	2	4	2	4	3	2	2	2	1	4	3	3	2
13	PRE-TEST	2	2	3	3	3	4	4	3	2	4	3	3	2	3	2	3	4	2	3	2	3
14	PRE-TEST	4	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2	3	1	3	2	3	3	3	2	3	3
15	PRE-TEST	2	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3	2	2	2	4	4
16	PRE-TEST	3	3	4	3	1	4	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	4	2
17	PRE-TEST	2	3	2	2	3	2	3	2	2	4	3	4	2	2	3	2	2	2	3	3	2
18	PRE-TEST	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	4	2	3	3	3	3	4	4	3	2
19	PRE-TEST	3	4	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2
20	PRE-TEST	2	3	2	4	2	4	4	2	3	2	3	3	3	3	1	4	3	3	3	3	2
21	PRE-TEST	3	3	4	3	3	4	3	5	3	2	2	3	2	4	2	4	3	4	3	3	3
22	PRE-TEST	2	3	2	4	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	1	3	3	3	2	3	3
23	PRE-TEST	3	3	2	4	4	2	3	2	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	2
24	PRE-TEST	3	3	4	3	4	2	3	4	3	3	3	4	3	3	2	2	3	3	3	5	3
25	PRE-TEST	2	3	2	3	3	2	3	3	2	4	4	2	2	1	2	3	2	3	2	3	3
26	PRE-TEST	4	4	2	3	2	4	3	3	3	2	3	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3
27	PRE-TEST	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	4
28	PRE-TEST	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	4	2	2	3	3
29	PRE-TEST	4	4	2	4	3	2	3	3	3	3	2	4	2	3	3	2	2	3	2	2	3
30	PRE-TEST	2	4	3	4	4	2	3	3	2	2	3	2	4	4	1	4	4	4	2	2	3
31	PRE-TEST	3	4	3	3	2	3	4	2	3	1	2	3	3	2	2	3	3	4	2	3	3
32	PRE-TEST	3	2	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2	4	2	3	1	3	2	3	1
33	PRE-TEST	2	3	3	4	4	5	2	3	2	2	4	3	2	2	2	2	4	2	3	3	4

Identificación		Gestión Administrativa			Gestión del Talento Humano				Procesos Operativos				Gestión Técnica			Riesgo Percibido			Desempeño en SST			
ID	fase	ga1	ga2	ga3	gth1	gth2	gth3	gth4	po1	po2	po3	po4	gt1	gt2	gt3	riesgo1	riesgo2	riesgo3	dsst1	dsst2	dsst3	dsst4
34	PRE-TEST	4	4	2	2	2	3	3	3	2	4	2	3	3	1	3	2	3	3	3	2	3
35	PRE-TEST	3	4	4	3	3	2	3	4	3	3	4	4	3	2	2	3	4	3	4	3	3
36	PRE-TEST	4	3	2	2	3	2	4	4	4	2	2	3	3	4	2	4	2	3	5	4	3
37	PRE-TEST	3	3	3	3	4	2	4	2	3	3	3	4	3	2	3	3	3	2	2	4	4
38	PRE-TEST	3	2	4	4	3	3	3	3	2	4	3	4	3	4	1	3	3	1	4	2	3
39	PRE-TEST	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2
40	PRE-TEST	3	3	3	3	2	3	4	2	3	2	3	2	3	3	2	2	3	3	4	4	4
41	PRE-TEST	3	3	2	3	3	3	3	1	2	4	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	4
42	PRE-TEST	3	3	2	4	3	2	2	2	2	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	3
43	PRE-TEST	2	3	2	3	3	2	2	3	2	5	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	4
44	PRE-TEST	2	3	2	3	3	3	4	3	3	3	2	4	4	2	1	3	3	2	2	3	3
45	PRE-TEST	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3

MATRIZ DE RESPUESTAS – EVALUACIÓN POST-TEST

Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo · 2 = En desacuerdo · 3 = Indiferente · 4 = De acuerdo · 5 = Totalmente de acuerdo

Identificación		Gestión			Gestión del Talento				Procesos Operativos				Gestión Técnica			Riesgo Percibido			Desempeño en SST			
ID	fase	ga1	ga2	ga3	gth1	gth2	gth3	gth4	po1	po2	po3	po4	gt1	gt2	gt3	riesgo1	riesgo2	riesgo3	dsst1	dsst2	dsst3	dsst4
1	POST-	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	3	4	4	4	3	5	4
2	POST-	5	4	5	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	4	3	3	4	4	5	4	5
3	POST-	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	5	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4
4	POST-	5	4	4	4	5	3	5	3	4	3	5	4	5	4	4	4	5	3	5	4	4
5	POST-	5	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
6	POST-	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	5	4
7	POST-	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	5	3	4	5	4	4	3	5	3	5	3
8	POST-	4	4	4	4	4	3	5	5	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	5
9	POST-	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	3	5	4	3	4	5	3	4	5	5
10	POST-	5	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	5	3	4	4	4	4	3	3	4
11	POST-	5	4	4	3	5	5	4	4	4	3	4	5	4	5	3	3	4	4	5	4	4
12	POST-	4	4	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	3	4	4	5	4	5	3	5	4
13	POST-	5	5	4	4	4	4	3	5	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	5	5	4
14	POST-	4	5	4	4	4	3	4	5	5	4	5	4	4	5	4	3	4	3	3	3	5
15	POST-	4	4	4	4	5	3	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	3	4	4
16	POST-	4	4	4	5	4	5	4	3	4	3	4	4	4	3	2	4	5	5	4	4	4
17	POST-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4

Identificación		Gestión			Gestión del Talento				Procesos Operativos				Gestión Técnica			Riesgo Percibido			Desempeño en SST			
ID	fase	ga1	ga2	ga3	gth1	gth2	gth3	gth4	po1	po2	po3	po4	gt1	gt2	gt3	riesgo1	riesgo2	riesgo3	dsst1	dsst2	dsst3	dsst4
18	POST-	4	5	4	4	4	3	4	5	4	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3
19	POST-	4	4	4	4	4	5	4	3	3	3	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5
20	POST-	4	4	4	5	5	4	4	3	4	5	4	5	3	4	4	3	3	4	4	3	4
21	POST-	5	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	5	4
22	POST-	5	4	5	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5	3	4	4	3	4	4	4
23	POST-	4	4	5	4	3	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
24	POST-	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	3	3	4	4	5	4	4
25	POST-	4	4	4	4	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	5	3	4	4	4	4	4
26	POST-	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	3
27	POST-	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4
28	POST-	3	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	5	3	4	4	4	4	4	3	4	5
29	POST-	4	4	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3
30	POST-	5	4	4	4	5	3	5	5	3	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4
31	POST-	5	4	4	3	4	5	5	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5	3
32	POST-	5	3	3	3	5	5	4	5	3	5	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4
33	POST-	5	3	4	4	4	5	4	5	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4
34	POST-	5	4	5	5	5	4	3	5	4	5	4	4	4	3	3	3	4	3	5	4	5
35	POST-	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	4	4	5
36	POST-	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4
37	POST-	3	4	4	3	4	3	3	5	3	4	4	4	3	5	5	4	4	5	3	3	4
38	POST-	4	5	4	3	5	3	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	4
39	POST-	4	4	4	5	4	3	4	4	5	4	3	4	3	4	5	4	5	4	4	3	3
40	POST-	4	3	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	3	5	3	4	4	4	4	4
41	POST-	4	4	4	4	4	5	4	3	3	3	4	4	5	5	5	3	3	4	3	4	5
42	POST-	4	5	4	4	4	3	5	5	4	5	3	4	4	5	5	5	4	5	4	4	4
43	POST-	3	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
44	POST-	5	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4
45	POST-	4	4	4	3	4	3	5	3	4	5	4	4	4	4	5	4	4	3	4	5	4

ANEXO E. MATRIZ IPER

MATRIZ IPER – PLANTA ENVASADORA MENDOGAS

Identificación de peligros, evaluación de riesgos y planificación de controles – Procesos de descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP

Empresa	MENDOGAS S.A.	**Centro de trabajo**	Planta envasadora – Riobamba, Ecuador
Fecha de elaboración	15/03/2026	**Revisión**	01
Alcance	Descarga, envasado y mantenimiento de cilindros de GLP	**Población**	45 trabajadores (censo)
Metodología	P × S: Baja=1, Media=2, Alta=3	**Criterio**	NR = P × S

Formato compacto: se integran Probabilidad con P, Severidad con S y NR con nivel de riesgo; el proceso se presenta por bloques. No se elimina información de la matriz fuente.

PROCESO: DESCARGA

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
D-01	Ingreso de vehículo cisterna Guiar posicionamiento en bahía	8	Mecánico Movimiento de vehículo pesado	Atropello, choque o daño a instalaciones	Señalero designado; límite 10 km/h; calzos; ruta demarcada	Inspección visual previa	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener señalización horizontal y registrar inspección diaria de calzos	Administrativo
D-02	Preparación de trasiego Verificar puesta a tierra y equipotencialidad	4	Eléctrico / incendio Electricidad estática	Ignición de vapores inflamables	Cable de puesta a tierra; prueba de continuidad; procedimiento de conexión	Continuidad verificada antes del trasiego	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener prueba funcional semanal y registro de continuidad	Ingeniería / administrativo
D-03	Conexión de mangueras Acoplar línea de transferencia	4	Mecánico Acoples, mangueras y puntos de pellizco	Golpes, atrapamiento de manos o fuga menor	Inspección preuso; guantes; acoples certificados; válvulas cerradas	Checklist de conexión	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener recambio preventivo de empaques y mangueras según vida útil	Ingeniería

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
D-04	Trasiego de GLP Supervisar descarga de GLP	8	Químico / incendio Fuga de GLP (gas inflamable)	Explosión / incendio	Parada de emergencia; puesta a tierra; extintores; procedimiento de trasiego	H_2S hasta 20 ppm; CO hasta 70 ppm; LEL hasta 20%; O_2 19,5–23,5%	3 Alta	3 Alta	**9 Crítico**	**No aceptable**	Mantener detectores calibrados, reforzar señalética preventiva y exigir EPP obligatorio; verificar alarmas antes de cada descarga	Ingeniería / administrativo / EPP
D-05	Supervisión de trasiego Permanecer en zona de operación	8	Físico Exposición a radiación solar y lluvia	Fatiga, deshidratación o resbalones	Cubierta parcial; hidratación; botas antideslizantes; pausas	Condición ambiental rutinaria	1 Baja	1 Baja	**1 Bajo**	**Aceptable**	Mantener disponibilidad de agua y suspender operación durante tormenta eléctrica	Administrativo / EPP
D-06	Desconexión y purga Retirar línea de transferencia	4	Físico / químico GLP líquido y superficies frías	Quemadura por frío o irritación	Purga controlada; guantes resistentes; careta; cierre secuencial de válvulas	Sin contacto directo registrado	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Reforzar secuencia de desconexión en charla operativa trimestral	Administrativo / EPP
D-07	Salida de vehículo Liberar bahía de descarga	8	Mecánico Vehículo en movimiento	Choque o atropello	Señalero; ruta unidireccional; alarma de retroceso	Inspección de ruta despejada	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener control de acceso y demarcación de la bahía	Administrativo

PROCESO: ENVASADO

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
E-01	Recepción y clasificación Descargar cilindros vacíos	20	Mecánico Rodamiento y caída de cilindros	Golpes, contusiones o atrapamiento de pies	Guantes; calzado con puntera; área delimitada; estibas	Observación directa de tarea	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener inspección de estibas y orden de pasillos	Administrativo / EPP

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
E-02	Alimentación de línea Colocar cilindros en transportador	15	Mecánico Partes móviles del transportador	Atrapamiento de manos o ropa	Guardas; parada de emergencia; procedimiento; ropa ajustada	Prueba funcional de parada	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Verificar guardas y parada de emergencia al inicio de cada turno	Ingeniería / administrativo
E-03	Inspección previa Revisar válvula y estado del cilindro	10	Mecánico Bordes, corrosión y válvulas defectuosas	Cortes o proyección de partículas	Guantes; lentes; rechazo de cilindros no conformes	Registro de cilindros rechazados	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener criterios de rechazo visibles en el puesto	Administrativo / EPP
E-04	Operación de compresores y llenadora Operar equipos de envasado	25	Físico Ruido de compresores (>90 dB(A))	Hipoacusia laboral	Protectores auditivos; señalización; mantenimiento preventivo básico	94,5–98,4 dB(A)	3 Alta	2 Media	**6 Alto**	**No aceptable**	Implementar programa de conservación auditiva, uso obligatorio de tapones/protectores tipo copa y mantenimiento de equipos; estudiar encapsulamiento acústico	Ingeniería / administrativo / EPP
E-05	Llenado de cilindros Controlar peso y cierre de válvula	18	Proceso / químico Sobrellenado o falla de válvula	Liberación localizada de GLP	Balanza calibrada; corte automático; inspección de válvula; detector fijo	Calibración vigente de balanza	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener calibración semestral y prueba de corte automático	Ingeniería
E-06	Prueba de hermeticidad Aplicar solución detectora y revisar fugas	12	Químico Microfuga en válvula o sello	Irritación o atmósfera inflamable localizada	Ventilación; detector fijo; retiro inmediato del cilindro; prohibición de fuentes de ignición	Prueba de hermeticidad por lote	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener calibración del detector y registro de cilindros con fuga	Ingeniería / administrativo

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
E-07	Manipulación y transporte Levantar y mover cilindros llenos	25	Ergonómico Manipulación manual de cilindros	Lesiones musculoesqueléticas	Inducción básica; guantes; disponibilidad parcial de carros	Flexión media máxima del torso: 61° sin técnica; 16° con técnica segura	3 Alta	2 Media	**6 Alto**	**No aceptable**	Capacitar en ergonomía y técnica segura; ampliar el uso de carros transportadores y prohibir el levantamiento simultáneo de dos cilindros llenos	Ingeniería / administrativo
E-08	Despacho Apilar y cargar cilindros	20	Mecánico Caída o desplazamiento de cilindros	Golpes y atrapamiento	Estiba limitada; separadores; guantes; supervisión	Altura de apilado controlada	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener límite de apilado y revisión semanal de estibas	Administrativo

PROCESO: MANTENIMIENTO

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
M-01	Recepción de cilindros Trasladar cilindros al banco	12	Mecánico Rodamiento y caída de cilindros	Golpes o atrapamiento de pies	Carros; guantes; calzado; pasillos despejados	Inspección visual	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener carros en buen estado y rutas libres	Ingeniería / administrativo
M-02	Despresurización Asegurar ausencia de presión residual	6	Químico / incendio GLP residual en cilindro	Fuga, incendio o exposición	Área ventilada; procedimiento; detector portátil; conexión a tierra	Detector en cero antes de intervenir	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener verificación atmosférica antes de desmontar válvulas	Ingeniería / administrativo
M-03	Desmontaje de válvulas Usar herramientas manuales	8	Mecánico Herramientas y bordes metálicos	Cortes, golpes o atrapamiento de dedos	Herramientas adecuadas; guantes; banco de sujeción	Inspección de herramientas	1 Baja	2 Media	**2 Bajo**	**Aceptable**	Mantener programa de inspección y reposición de herramientas	Administrativo / EPP

ID	Actividad / tarea	N.º exp.	Tipo de peligro / peligro-fuente	Riesgo asociado / consecuencia	Controles existentes	Evidencia / medición	P	S	NR / nivel	Aceptabilidad	Acción planificada	Jerarquía de control
M-04	Limpieza, lijado y esmerilado Preparar superficie metálica	12	Químico Polvo y partículas metálicas	Afecciones respiratorias	Mascarillas; ventilación general; limpieza manual del área	$PM_{2.5}$: 268,1 µg/m³; PM_{10}: 700 µg/m³	2 Media	2 Media	4 Moderado	No aceptable	Proveer protección respiratoria adecuada, instalar extracción localizada y formalizar el programa de orden y limpieza	Ingeniería / administrativo / EPP
M-05	Uso de herramientas eléctricas Taladrar o esmerilar componentes	8	Eléctrico Cables, enchufes y equipos portátiles	Choque eléctrico o quemadura	Inspección preuso; puesta a tierra; interruptor diferencial; equipos certificados	Checklist de herramienta	1 Baja	2 Media	2 Bajo	Aceptable	Mantener inspección mensual y retiro inmediato de equipos defectuosos	Ingeniería / administrativo
M-06	Trabajo en caliente Soldar reparaciones autorizadas	4	Incendio / proceso Chispas y superficies calientes	Incendio, quemaduras o daño al cilindro	Permiso de trabajo; cilindro desgasificado; extintor; vigía de fuego	Permiso PTW obligatorio	1 Baja	2 Media	2 Bajo	Aceptable	Mantener permiso de trabajo y medición de gases antes y después de soldar	Administrativo / ingeniería
M-07	Inspección y ajuste Realizar tareas de detalle en banco	8	Físico Iluminación localizada insuficiente	Fatiga visual y error de inspección	Luminarias generales; lámparas portátiles de apoyo	147,3–332,1 lux; uso de lámpara puntual en tareas de detalle	1 Baja	1 Baja	1 Bajo	Aceptable	Mantener lámparas de tarea y verificar iluminancia semestralmente	Ingeniería
M-08	Limpieza final y residuos Retirar viruta, polvo y materiales	10	Locativo Residuos y superficies con polvo	Caída al mismo nivel o cortes	Contenedores; escoba industrial; guantes; rutas despejadas	Inspección 5S al cierre de turno	1 Baja	1 Baja	1 Bajo	Aceptable	Mantener inspección de orden y limpieza al cierre de cada turno	Administrativo / EPP

ANEXO F. EXTRACTO DEL CÓDIGO R UTILIZADO PARA LA CREACIÓN DEL DASHBOARD

```
# DASHBOARD SGPRL – MENDOGAS
library(shiny); library(shinydashboard); library(plotly); library(DT)

# 1. Datos mensuales de exposición y gestión preventiva
datos <- data.frame(
 Mes=paste0("Mes ",0:6), Ruido=c(98.4,94.8,92.5,90.8,89.7,88.9,87.5),
 PM25=c(268.1,210,175,145,110,82,60), H2S=c(20,17,15,12,10,8,6),
 CO=c(70,62,55,48,42,36,30), LEL=c(20,16,13,10,8,6,4),
 Ilum=c(147,180,210,250,300,340,380), Flex=c(62,48,35,28,22,18,16),
 Cap=c(35,55,68,76,84,90,95), EPP=c(60,72,80,84,88,92,95),
 IPER=c(55,70,82,88,92,95,96), Acc=c(30,45,58,70,78,86,92), Inc=c(6,5,4,3,2,2,1))

# 2. Índice ponderado de riesgo residual (0–100)
esc <- function(x,a,b,inv=FALSE){z<-if(inv)(b-x)/(b-a) else (x-a)/(b-a);100*pmax(0,pmin(1,z))}
riesgo <- function(d) round(.18*esc(d$Ruido,85,100)+.14*esc(d$PM25,15,268.1)+
 .14*esc(d$H2S,10,20)+.12*esc(d$CO,50,70)+.10*esc(d$LEL,10,20)+
 .10*esc(d$Ilum,150,500,T)+.12*esc(d$Flex,20,62)+.04*esc(d$Cap,50,100,T)+
 .03*esc(d$EPP,60,100,T)+.02*esc(d$IPER,60,100,T)+.01*esc(d$Acc,50,100,T),1)
nivel <- function(r) ifelse(r>=70,"Crítico",ifelse(r>=45,"Alto",ifelse(r>=25,"Moderado","Controlado")))
datos$Riesgo<-riesgo(datos); datos$Nivel<-nivel(datos$Riesgo)

# 3. Interfaz del dashboard
ui <- dashboardPage(dashboardHeader(title="Seguimiento SGPRL"),
 dashboardSidebar(sidebarMenu(menuItem("Panel",tabName="p"),menuItem("Simulador",tabName="s"))),
 dashboardBody(tabItems(
  tabItem("p",fluidRow(valueBoxOutput("vb",4),valueBoxOutput("vi",4),valueBoxOutput("va",4)),
        fluidRow(box(plotlyOutput("graf"),8),box(DTOutput("tabla"),4))),
  tabItem("s",fluidRow(box(4,sliderInput("ruido","Ruido dB(A)",70,105,90),
        sliderInput("cap","Capacitación (%)",0,100,80),sliderInput("epp","EPP (%)",0,100,90)),
        box(8,plotlyOutput("gauge")))))))

# 4. Servidor: indicadores, tendencia y simulación
server <- function(input,output,session){u<-reactive(tail(datos,1))
 output$vb<-renderValueBox(valueBox(paste0(u()$Riesgo,"%"),u()$Nivel,color="green"))
 output$vi<-renderValueBox(valueBox(u()$Inc,"Incidentes",color="blue"))
 output$va<-renderValueBox(valueBox(paste0(u()$Acc,"%"),"Acciones cerradas",color="teal"))
 output$graf<-renderPlotly(plot_ly(datos,x=~Mes,y=~Riesgo,type="scatter",mode="lines+markers")%>%
                 layout(yaxis=list(range=c(0,100),title="Riesgo residual (%)")))
 output$tabla<-renderDT(datatable(datos[,c("Mes","Riesgo","Nivel")],rownames=FALSE,options=list(dom="t")))
 rs<-reactive({d<-u();d$Ruido<-input$ruido;d$Cap<-input$cap;d$EPP<-input$epp;riesgo(d)})
 output$gauge<-renderPlotly(plot_ly(type="indicator",mode="gauge+number",value=rs(),
                  gauge=list(axis=list(range=list(0,100))))) }
shinyApp(ui,server)
```

- **Extracto de código R de análisis exploratorio.**

```
library(readxl)
library(psych)

datos <- read_excel("Datos_SEM_multigrupo_n45.xlsx", sheet = "Datos")

items_dep <- c("gt1", "gt2", "gt3",
               "riesgo1", "riesgo2", "riesgo3",
               "dsst1", "dsst2", "dsst3", "dsst4")
df_pca <- datos[, items_dep]

# 1. DETERMINANTE
matriz_corr <- cor(df_pca)
determinante <- det(matriz_corr)
cat("\n--- 1. DETERMINANTE ---\n")
cat("Determinante:", round(determinante, 3), "\n")

# 2. KMO Y BARTLETT
kmo_res <- KMO(matriz_corr)
bartlett_res <- cortest.bartlett(matriz_corr, n = nrow(df_pca))
cat("\n--- 2. KMO Y BARTLETT ---\n")
cat("KMO Global:", round(kmo_res$MSA, 3), "\n")
cat("Bartlett Chi-cuadrado:", round(bartlett_res$chisq, 3), "\n")
cat("Bartlett p-valor:", bartlett_res$p.value, "\n")

# 3. DIAGONAL ANTI-IMAGEN
cat("\n--- 3. MATRIZ ANTI-IMAGEN (MSA) ---\n")
print(round(kmo_res$MSAi, 3))

# 4. VARIANZA TOTAL EXPLICADA
pca_res <- principal(df_pca, nfactors = 3, rotate = "varimax")
cat("\n--- 4. VARIANZA TOTAL EXPLICADA ---\n")
print(round(pca_res$Vaccounted, 3))
```

ANEXO G. REQUISITOS TECNOLÓGICOS E INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN DEL DASHBOARD

- **Paquetes requeridos**

Paquete	Función en la aplicación
shiny	Construcción de la aplicación web y programación reactiva.
shinydashboard	Organización visual del dashboard, menú y paneles.
plotly	Generación de gráficos interactivos.
DT	Presentación de tablas dinámicas.
dplyr	Selección y transformación de datos.
tidyr	Reestructuración de los registros para gráficos y tablas.
scales	Funciones auxiliares para presentación de escalas.

- **Instalación**

Para ejecutar la aplicación se requiere un equipo con el lenguaje R instalado. Se recomienda utilizar RStudio como entorno de desarrollo, aunque la aplicación

también puede ejecutarse directamente desde la consola de R. La conexión a internet es necesaria durante la primera instalación de los paquetes. Una vez instaladas las dependencias, el dashboard puede funcionar localmente sin conexión externa.

- **Procedimiento**

Paso 1. Instalar R.

Paso 2. Instalar RStudio, de manera opcional pero recomendada.

Paso 3. Crear una carpeta denominada: *Dashboard_SGPRL_MENDOGAS*

Paso 4. Guardar dentro de esa carpeta el archivo: *app.R*

Paso 5. Abrir RStudio y ejecutar:

```
DDD install.packages(c(
  "shiny",
  "shinydashboard",
  "plotly",
  "DT",
  "dplyr",
  "tidyr",
  "scales"
))
```

Paso 6. Establecer la carpeta de trabajo:
setwd("C:/ruta/Dashboard_SGPRL_MENDOGAS")

Paso 7. Ejecutar la aplicación:
shiny::runApp()
En RStudio también puede utilizarse el botón ***Run App***.

Paso 8. Esperar a que el navegador muestre la aplicación en una dirección local semejante a:
http://127.0.0.1:xxxx

- **Cierre de la aplicación**

Para finalizar la ejecución, se debe presionar el botón Stop en RStudio o utilizar la tecla Escape en la consola de R. Antes de cerrar la aplicación se recomienda generar y guardar el informe correspondiente al periodo trabajado, debido a que los datos agregados durante la sesión no se almacenan permanentemente.

ANEXO H. MANUAL DE USUARIO

- **Inicio de la aplicación**

Al iniciar el dashboard, el usuario accede al Panel general. En la parte izquierda se encuentra el menú de navegación y en la parte central se presentan los indicadores, gráficos y tablas asociados con cada módulo.

- **Descripción de las pestañas**

Pestaña	Función principal	Procedimiento de uso
Panel general	Presentar el estado global del SGPRL.	Revisar el índice, DSST, incidentes, acciones cerradas y tendencias.
Seguimiento mensual	Consultar un periodo específico.	Seleccionar el mes y revisar sus indicadores y la tabla histórica.
Variables críticas	Observar las variables instrumentales y el semáforo.	Revisar tendencias y determinar cuáles indicadores aparecen en atención.
PDCA + ISO 45001	Relacionar indicadores con la mejora continua.	Examinar la tabla PDCA y la tendencia de controles preventivos.
Modelo SGPRL	Mostrar los constructos antes y después.	Comparar GA, GTH, PO, GTEC, RIESGO y DSST.
Simulador preventivo	Evaluar escenarios hipotéticos.	Mover los controles y observar el cambio del índice.
Ingreso de datos	Agregar un nuevo periodo.	Completar los campos y seleccionar “Guardar medición mensual SGPRL”.
Reporte PDF	Generar el informe ejecutivo.	Elegir el periodo y descargar el archivo PDF.

Guía de lectura	Consultar criterios y unidades.	Revisar los límites y la interpretación de cada indicador.

- **Panel general**

El Panel general muestra cuatro indicadores principales: índice global de riesgo, nivel de desempeño SGPRL, incidentes del último periodo y porcentaje de acciones correctivas cerradas. También presenta la evolución mensual del riesgo, los indicadores GTEC, RIESGO y DSST, y el cumplimiento de los controles preventivos.

- **Seguimiento mensual**

Para consultar un periodo, el usuario debe seleccionar el mes en el menú desplegable. La aplicación actualiza las tarjetas con el índice de riesgo, nivel de ruido, porcentaje de capacitación y resultado de DSST.

- **Variables críticas**

Esta pestaña presenta las tendencias del ruido, $PM_{2.5}$, H_2S, CO, LEL y flexión del torso. En la tabla de semáforo se compara el último registro con los criterios programados, clasificando cada indicador como Controlado o Atención.

- **Simulador preventivo**

El simulador permite modificar las variables operativas y los porcentajes de cumplimiento. Cada modificación recalcula automáticamente el índice de riesgo. Los resultados son escenarios hipotéticos y no deben considerarse mediciones reales.

- **Ingreso de datos**

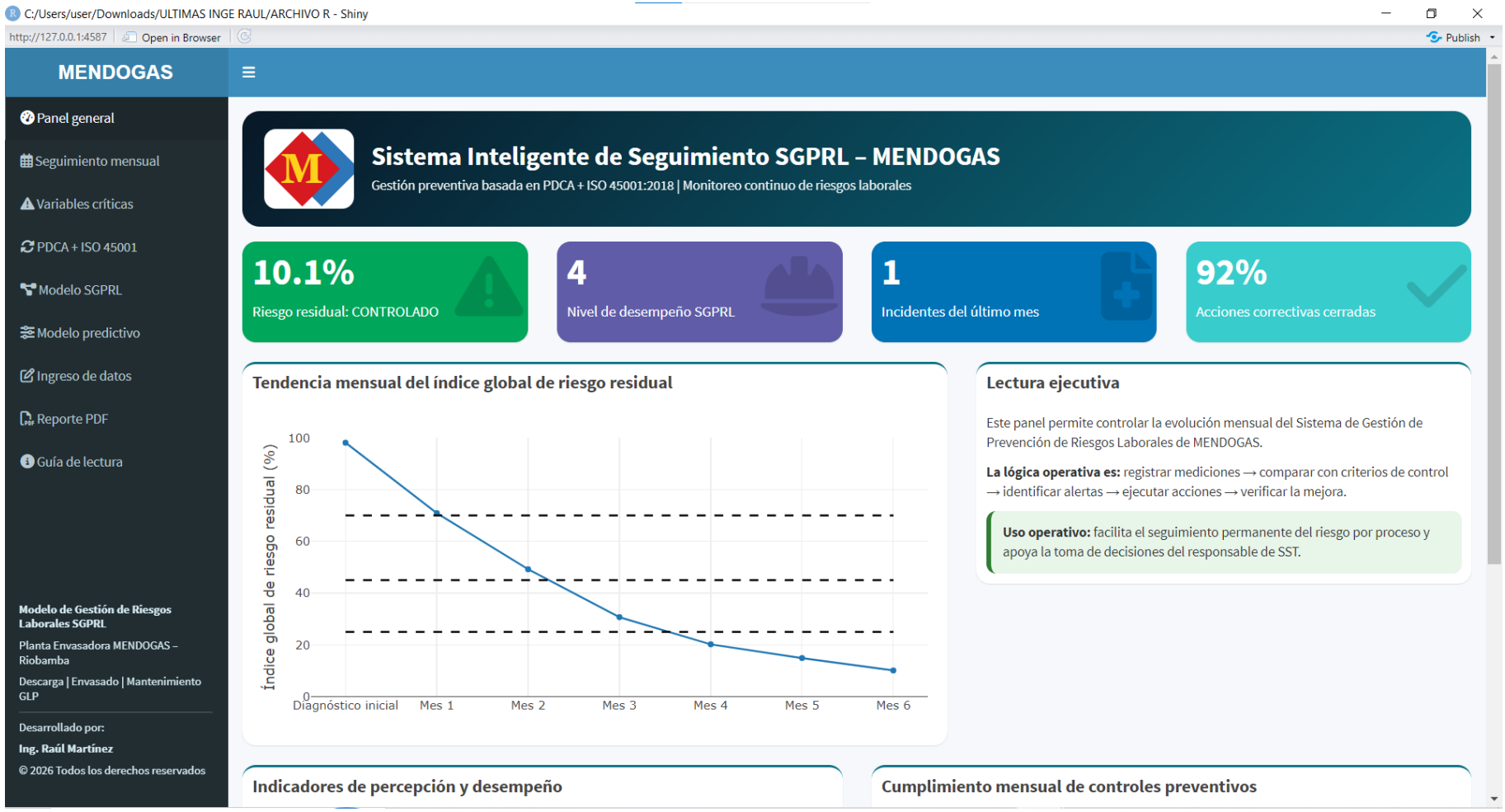
El usuario debe identificar el nuevo periodo e ingresar los resultados de las mediciones y de los controles preventivos. Al presionar el botón Guardar medición mensual SGPRL, la información se incorpora al historial de la sesión y se actualizan los gráficos.

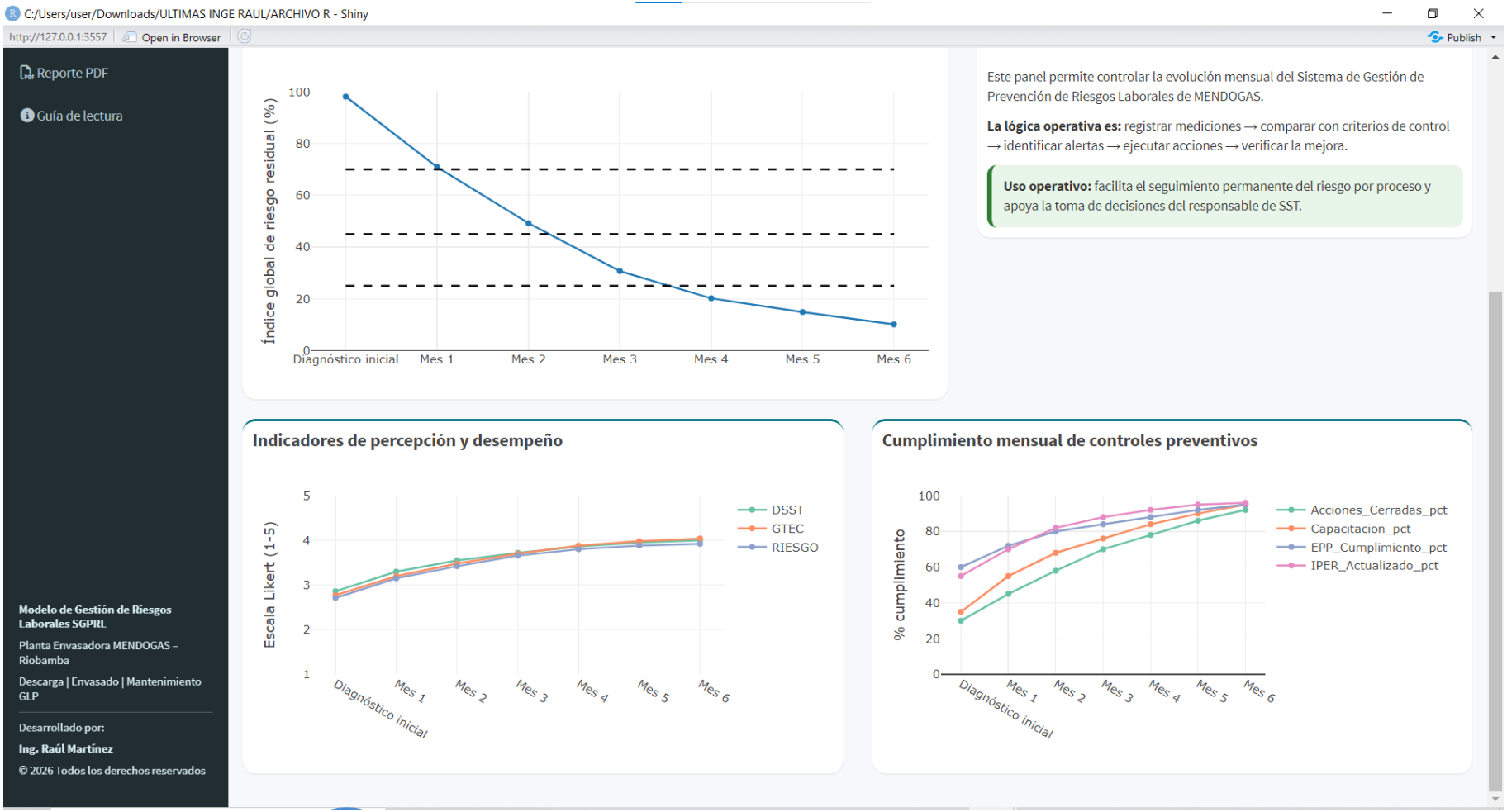
- **Generación del informe**

Para generar un informe, el usuario debe seleccionar el periodo en la pestaña Reporte PDF y presionar el botón Descargar Informe PDF. El documento se guarda en la carpeta de descargas del equipo.

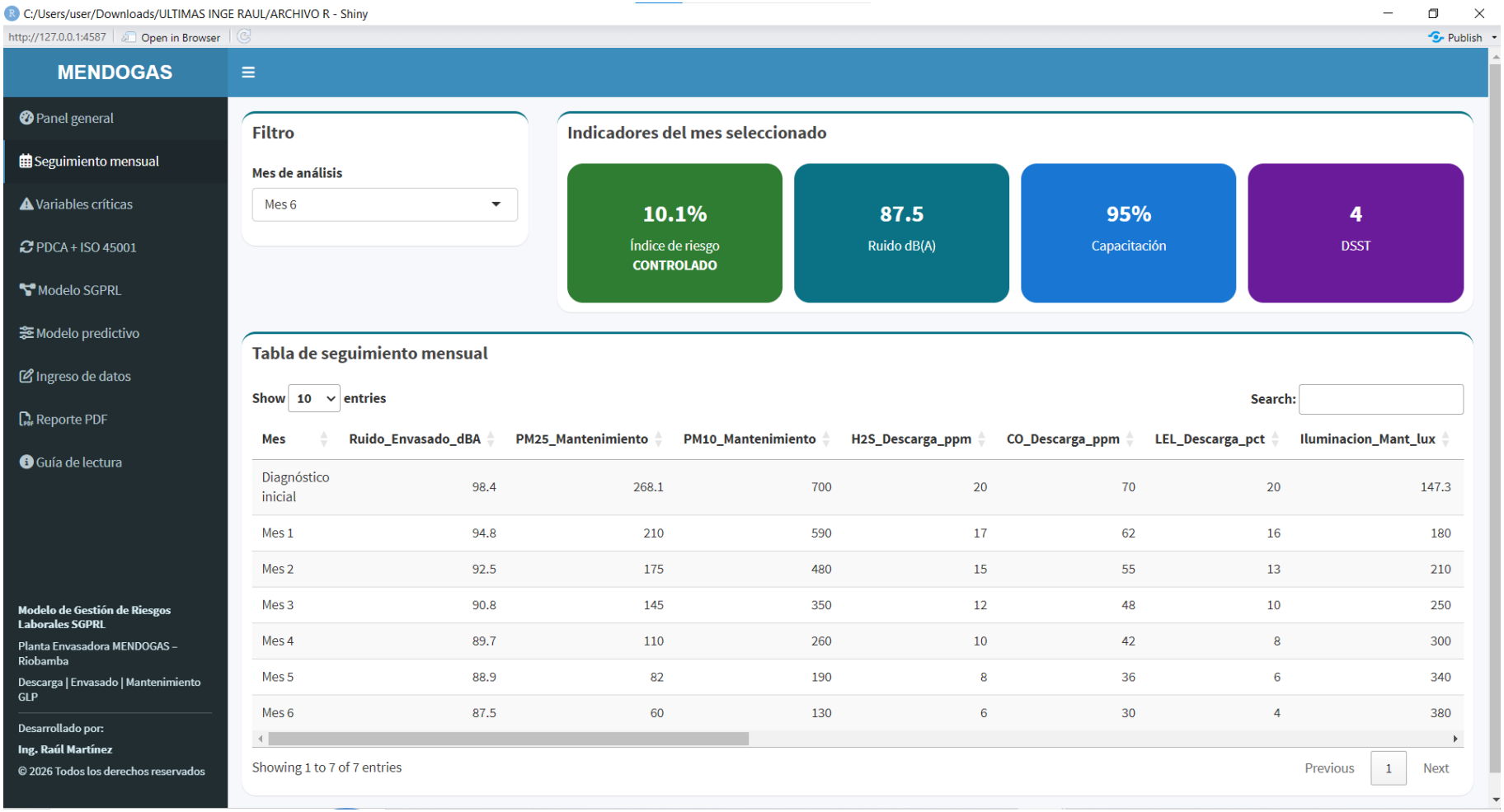
ANEXO I. CAPTURAS DE PANTALLA DEL DASHBOARD

- **Panel general del Dashboard SGPRL de MENDOGAS.**

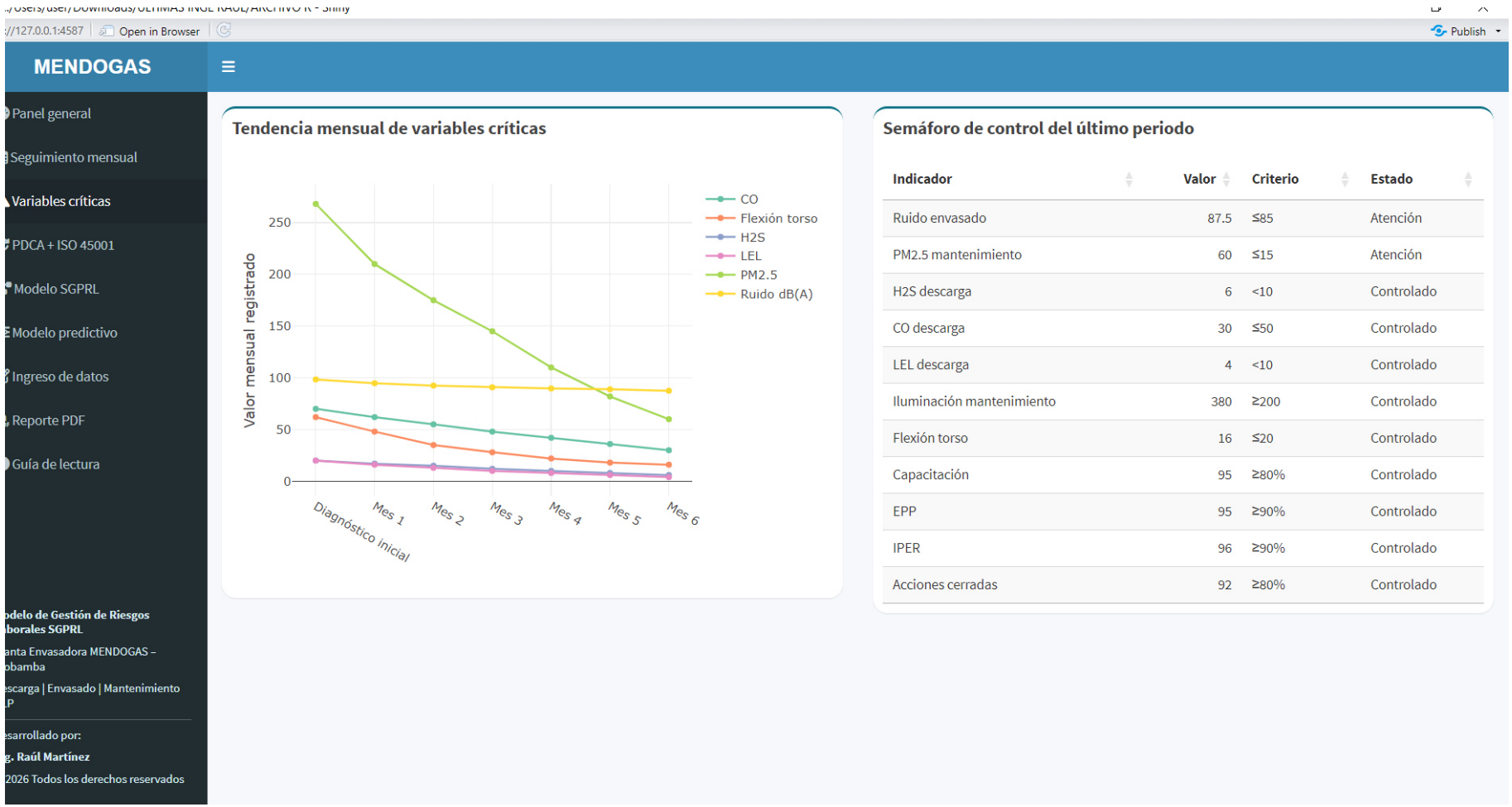



C:/Users/user/Downloads/ULTIMAS INGE RAUL/ARCHIVO R - Shiny
http://127.0.0.1:3557
Open in Browser
Publish
Reporte PDF
Guía de lectura
Índice global de riesgo residual (%)
100
80
60
40
20
0
Diagnóstico inicial
Mes 1
Mes 2
Mes 3
Mes 4
Mes 5
Mes 6
Este panel permite controlar la evolución mensual del Sistema de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales de MENDOGAS.
La lógica operativa es: registrar mediciones → comparar con criterios de control → identificar alertas → ejecutar acciones → verificar la mejora.
Uso operativo: facilita el seguimiento permanente del riesgo por proceso y apoya la toma de decisiones del responsable de SST.
Indicadores de percepción y desempeño
Escala Likert (1-5)
5
4
3
2
1
DSST
GTEC
RIESGO
Cumplimiento mensual de controles preventivos
% cumplimiento
100
80
60
40
20
0
Acciones_Cerradas_pct
Capacitacion_pct
EPP_Cumplimiento_pct
IPER_Actualizado_pct
Modelo de Gestión de Riesgos Laborales SGPRL
Planta Envasadora MENDOGAS – Riobamba
Descarga | Envasado | Mantenimiento GLP
Desarrollado por:
Ing. Raúl Martínez
© 2026 Todos los derechos reservados

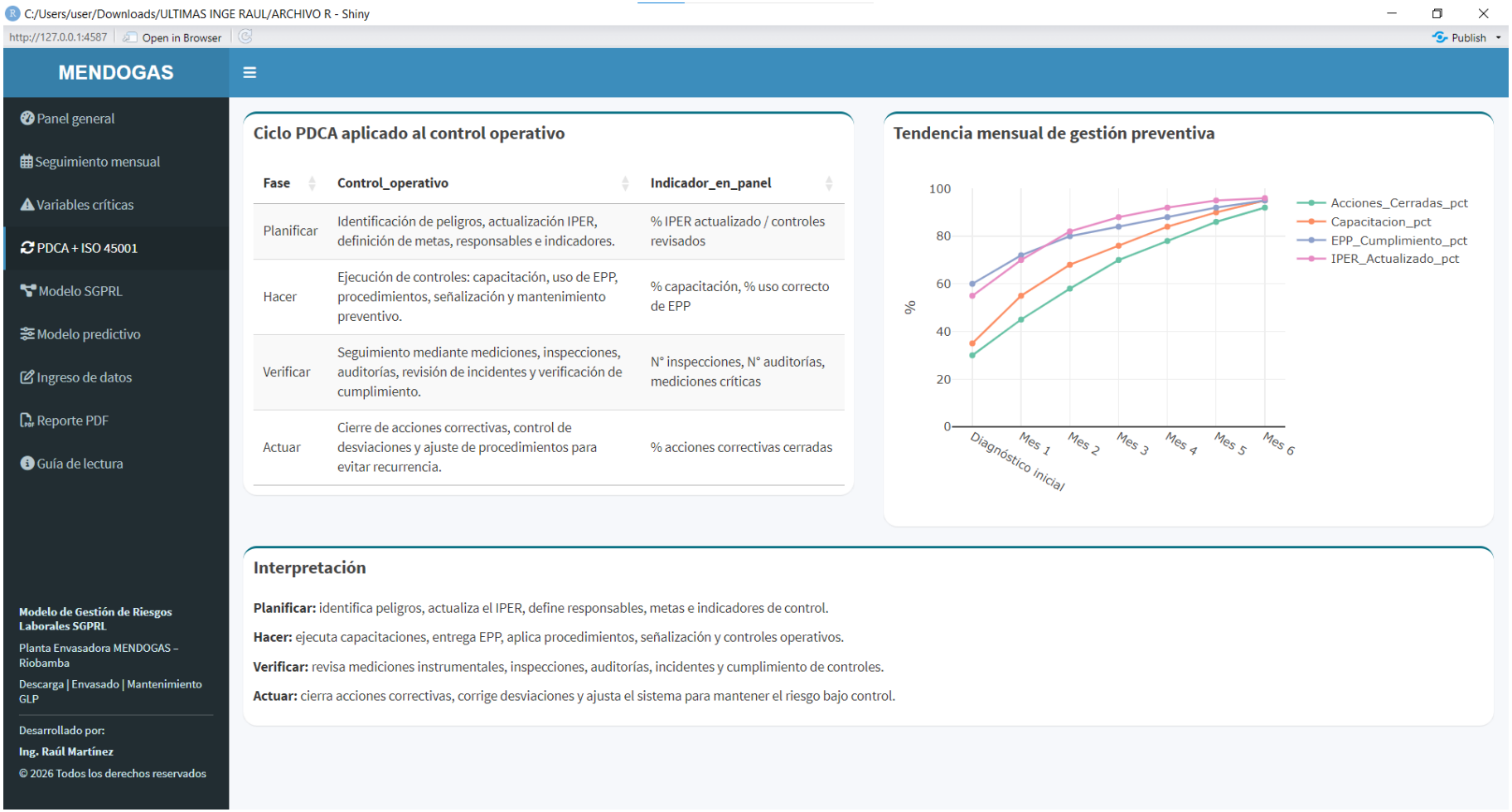
- **Módulo de seguimiento mensual.**



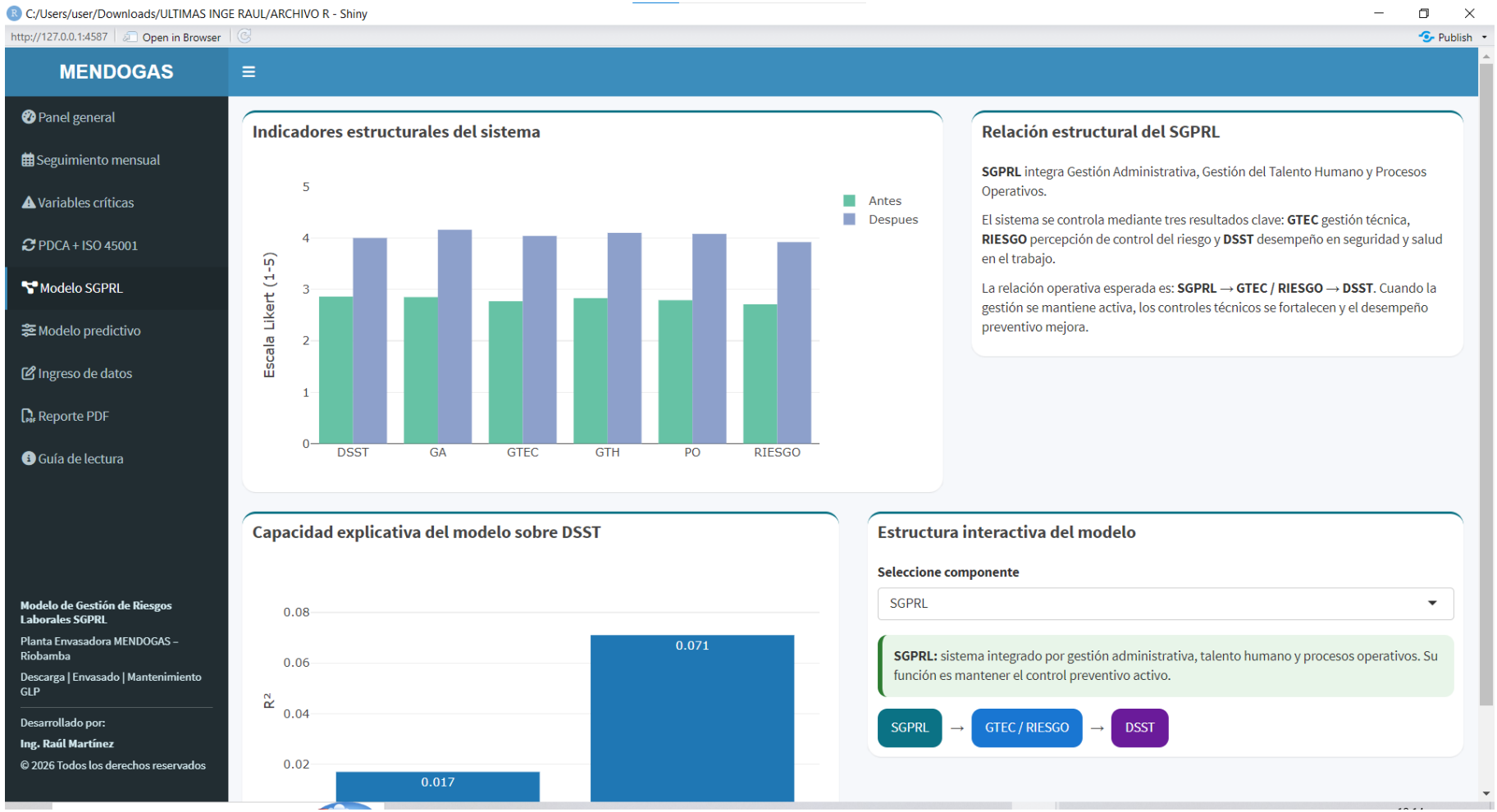
- **Tendencia y semáforo de variables críticas.**



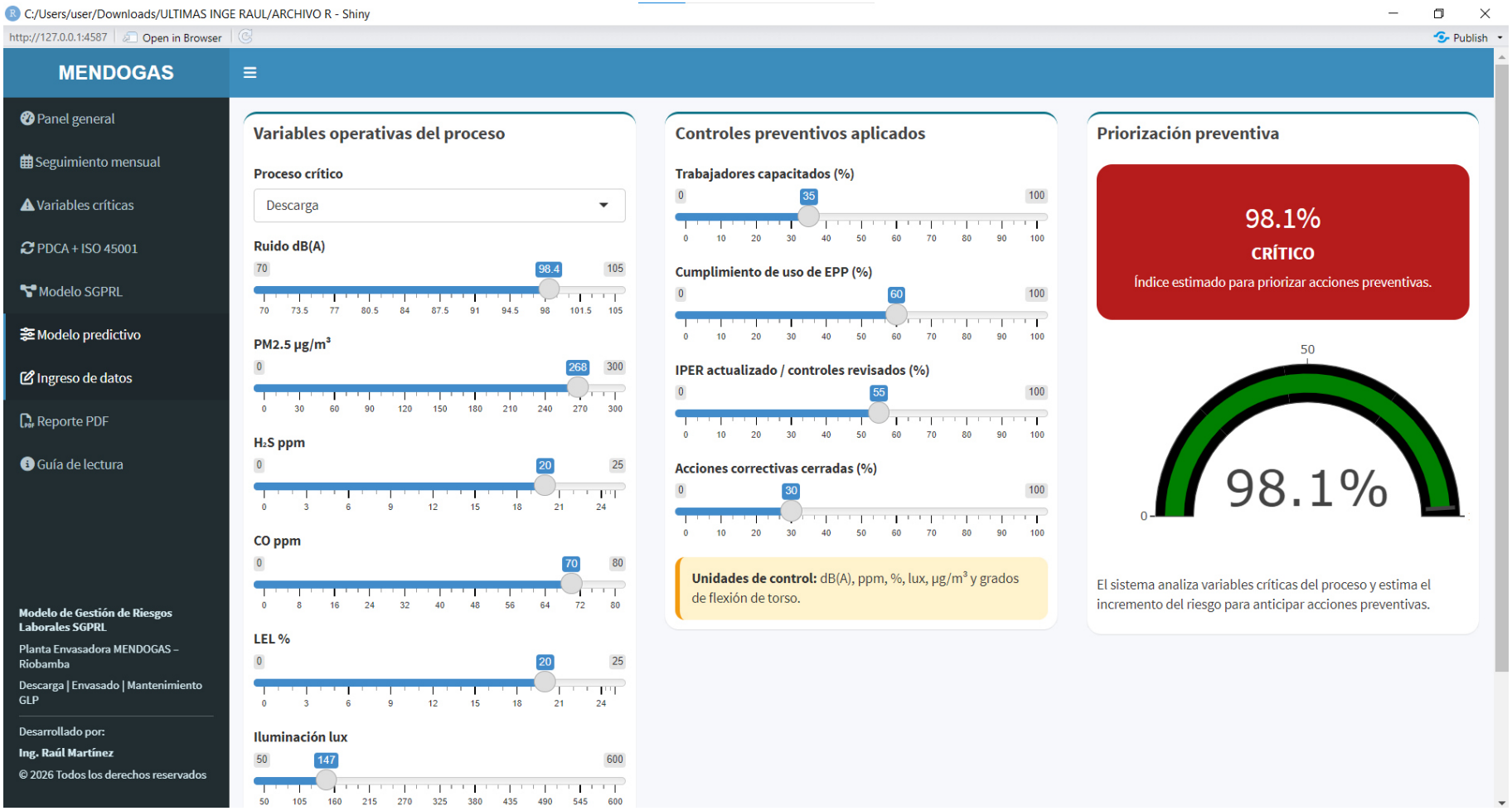
- **Integración operativa del ciclo PDCA.**



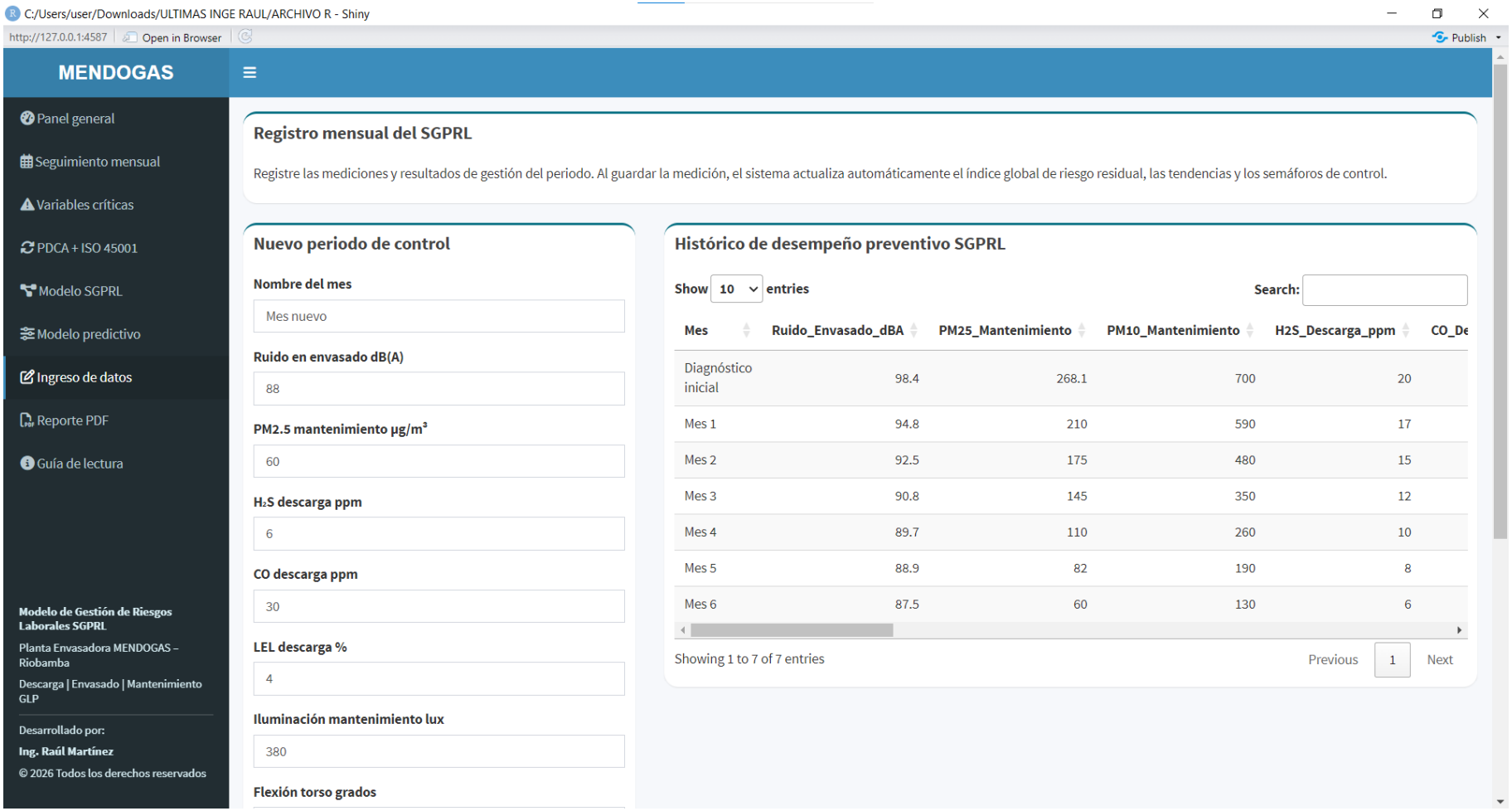
- **Comparación de los constructos del modelo SGPRL.**



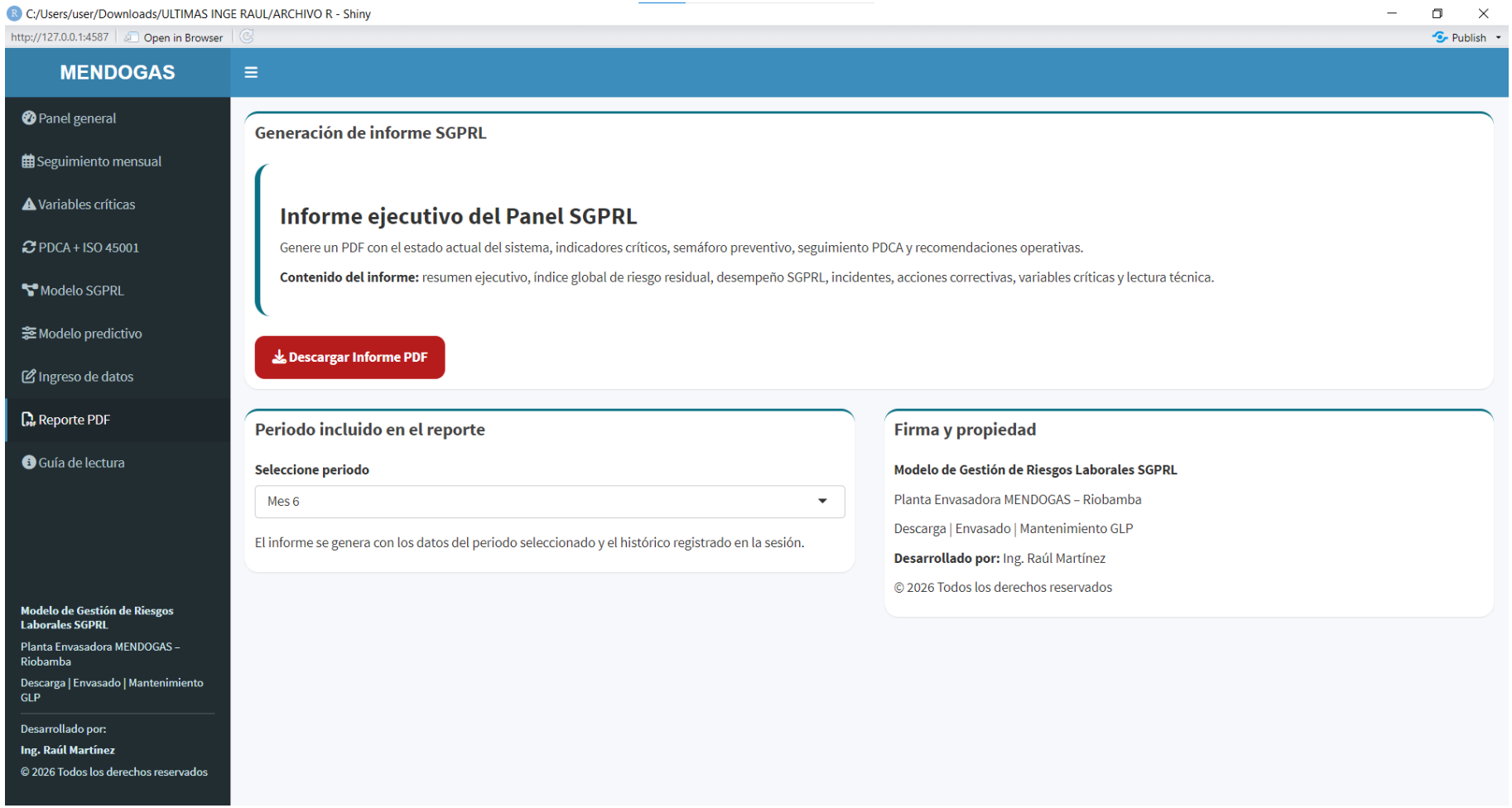
- **Simulador preventivo del índice global de riesgo.**



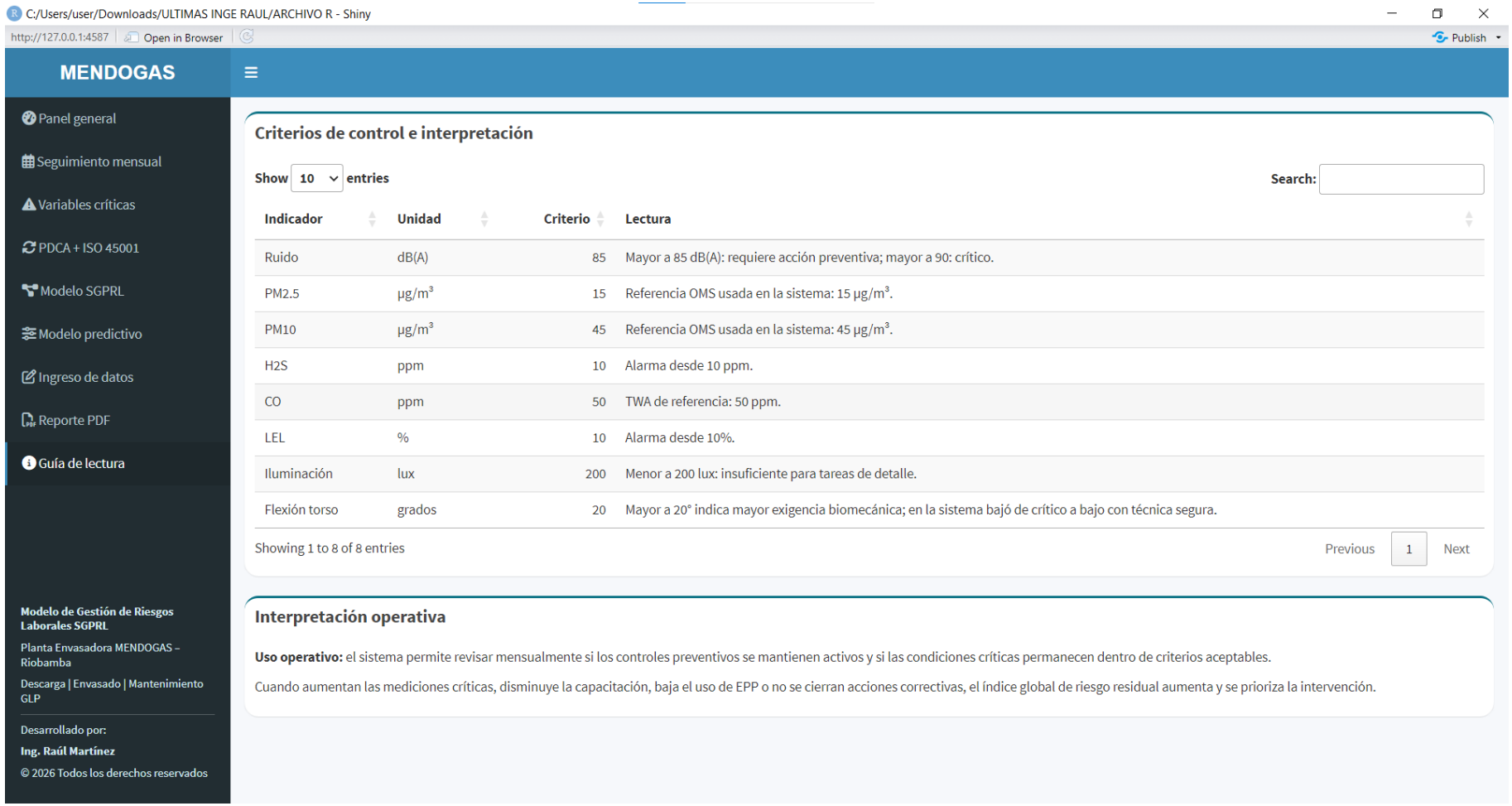
- **Formulario para el ingreso de registros mensuales.**



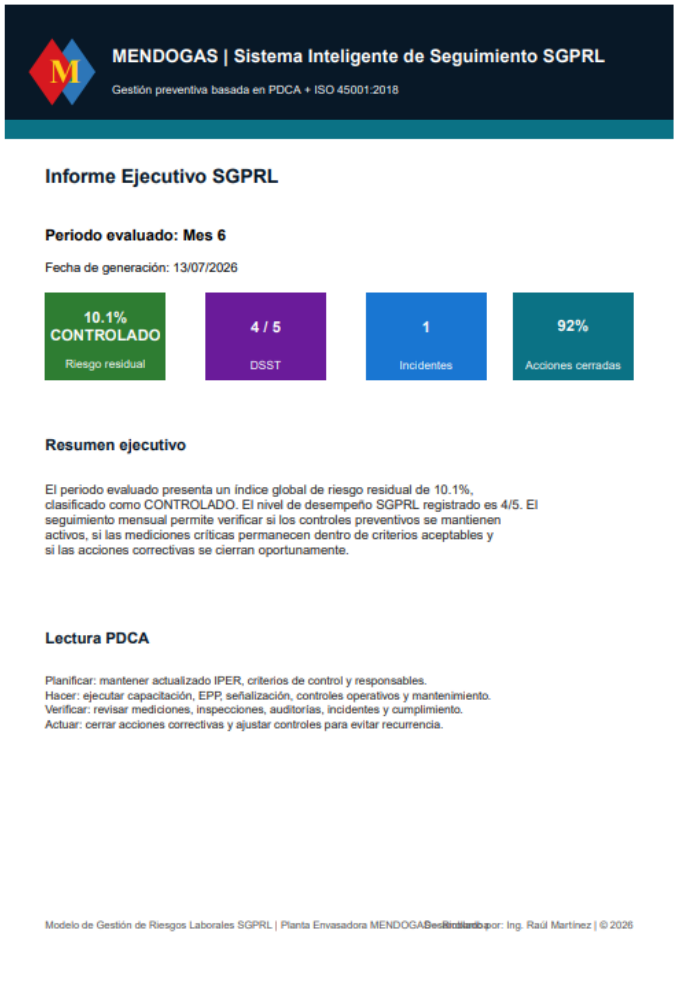
- **Módulo de generación de informes PDF.**



- **Guía de criterios de control e interpretación.**



- **Ejemplo del informe PDF generado por el dashboard.**



MENDOGAS | Sistema Inteligente de Seguimiento SGPRL

Gestión preventiva basada en PDCA + ISO 45001:2018

Informe Ejecutivo SGPRL

Periodo evaluado: Mes 6

Fecha de generación: 13/07/2026

10.1% CONTROLADO	4 / 5	1	92%
Riesgo residual	DSST	Incidentes	Acciones cerradas

Resumen ejecutivo

El periodo evaluado presenta un índice global de riesgo residual de 10.1%, clasificado como CONTROLADO. El nivel de desempeño SGPRL registrado es 4/5. El seguimiento mensual permite verificar si los controles preventivos se mantienen activos, si las mediciones críticas permanecen dentro de criterios aceptables y si las acciones correctivas se cierran oportunamente.

Lectura PDCA

Planificar: mantener actualizado IPER, criterios de control y responsables.
Hacer: ejecutar capacitación, EPP, señalización, controles operativos y mantenimiento.
Verificar: revisar mediciones, inspecciones, auditorías, incidentes y cumplimiento.
Actuar: cerrar acciones correctivas y ajustar controles para evitar recurrencia.

Modelo de Gestión de Riesgos Laborales SGPRL | Planta Envasadora MENDOGAS Desarrollado por: Ing. Raúl Martínez | © 2026



MENDOGAS | Sistema Inteligente de Seguimiento SGPRL

Gestión preventiva basada en PDCA + ISO 45001:2018

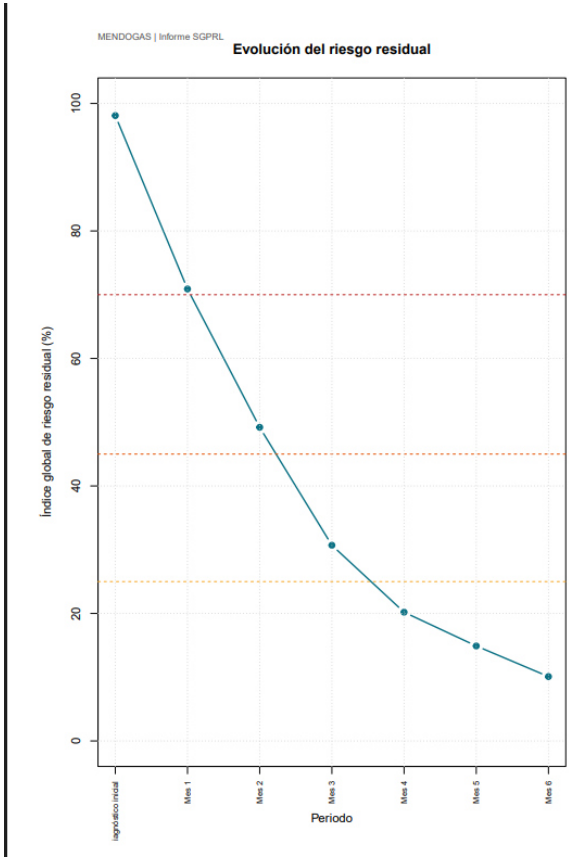
Semáforo de variables críticas

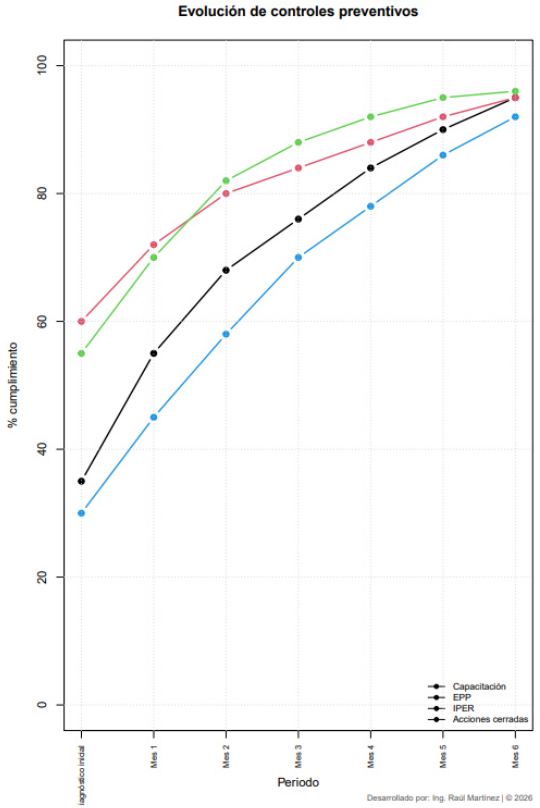
Indicador	Valor	Criterio	Estado
Ruido envasado	87.5	≤85 dB(A)	Atención
PM2.5 mantenimiento	60	≤15 µg/m³	Atención
H2S descarga	6	<10 ppm	Controlado
CO descarga	30	≤50 ppm	Controlado
LEL descarga	4	<10%	Controlado
Iluminación mantenimiento	380	≥200 lux	Controlado
Flexión torso	16	≤20°	Controlado
Capacitación	95	≥80%	Controlado
EPP	95	≥90%	Controlado
IPER	96	≥90%	Controlado
Acciones cerradas	92	≥80%	Controlado

Conclusión automática

El sistema se mantiene en condición controlada. Se recomienda conservar el seguimiento mensual, sostener la capacitación y verificar que los controles técnicos no pierdan eficacia.

Modelo de Gestión de Riesgos Laborales SGPRL | Planta Envasadora MENDOGAS Desarrollado por: Ing. Raúl Martínez | © 2026


MENDOGAS | Informe SGPRL
Evolución del riesgo residual
Índice global de riesgo residual (%)
0
20
40
60
80
100
Diagnóstico inicial
Mes 1
Mes 2
Mes 3
Mes 4
Mes 5
Mes 6
Periodo


Evolución de controles preventivos
% cumplimiento
0
20
40
60
80
100
Diagnóstico inicial
Mes 1
Mes 2
Mes 3
Mes 4
Mes 5
Mes 6
Periodo
Capacitación
EPP
IPER
Acciones cerradas
Desarrollado por: Ing. Raúl Martínez | © 2026

ANEXO J. DICCIONARIO DE VARIABLES

- **Variables instrumentales**

Variable en R	Descripción	Unidad	Área	Sentido del riesgo
Ruido_Envasado_dBA	Nivel de ruido registrado en envasado.	dB(A)	Envasado	Un valor mayor representa más riesgo.
PM25_Mantenimiento	Concentración de partículas $PM_{2.5}$.	µg/m³	Mantenimiento	Un valor mayor representa más riesgo.
PM10_Mantenimiento	Concentración de partículas PM_{10}.	µg/m³	Mantenimiento	Un valor mayor representa más riesgo.
H2S_Descarga_ppm	Concentración de sulfuro de hidrógeno.	ppm	Descarga	Un valor mayor representa más riesgo.
CO_Descarga_ppm	Concentración de monóxido de carbono.	ppm	Descarga	Un valor mayor representa más riesgo.
LEL_Descarga_pct	Porcentaje del límite inferior de explosividad.	%	Descarga	Un valor mayor representa más riesgo.
Iluminacion_Mant_lux	Iluminancia en tareas de mantenimiento.	lux	Mantenimiento	Un valor mayor, dentro del rango requerido, representa mejor control.
Flexion_Torso_grados	Ángulo de flexión del torso.	grados	Envasado	Un valor mayor representa más exigencia postural.

- **Variables de gestión**

Variable en R	Descripción	Unidad	Dirección favorable
Capacitacion_pct	Porcentaje de trabajadores capacitados.	%	Mayor
EPP_Cumplimiento_pct	Cumplimiento del uso correcto de EPP.	%	Mayor
IPER_Actualizado_pct	Porcentaje de actualización del IPER y revisión de controles.	%	Mayor
Inspecciones_n	Número de inspecciones realizadas.	Número	Mayor, según planificación
Auditorias_n	Número de auditorías realizadas.	Número	Mayor, según planificación
Acciones_Cerradas_pct	Porcentaje de acciones correctivas cerradas.	%	Mayor

- **Variables de resultado**

Variable en R	Descripción	Unidad
Incidentes_n	Número de incidentes registrados en el periodo.	Número
Dias_Perdidos_n	Jornadas perdidas por accidentes.	Días
GTEC	Puntuación media de Gestión Técnica.	Escala 1–5
RIESGO	Percepción de control del riesgo.	Escala 1–5
DSST	Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo.	Escala 1–5
Indice_Riesgo	Índice global calculado por el dashboard.	0–100

Nivel_Riesgo	Clasificación del índice.	Texto
Mes	Identificación del periodo de seguimiento.	Texto

Constructos del modelo

Código	Constructo
GA	Gestión Administrativa
GTH	Gestión del Talento Humano
PO	Procesos Operativos
GTEC	Gestión Técnica
RIESGO	Percepción de control del riesgo
DSST	Desempeño en Seguridad y Salud en el Trabajo
SGPRL	Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales

ANEXO K. FÓRMULA DEL ÍNDICE GLOBAL DE RIESGO

El dashboard calcula un índice global de riesgo con escala de 0 a 100. Para ello se normalizan las variables, considerando si su incremento representa una condición desfavorable o favorable. Posteriormente, los valores normalizados se integran mediante una suma ponderada.

Para variables en las que un valor mayor representa más riesgo:

$$N(x) = \max\left(0, \min\left(100, \frac{x - L}{U - L} \times 100\right)\right)$$

Para variables en las que un valor mayor representa mejor control:

$$N_i(x) = \max\left(0, \min\left(100, \frac{U - x}{U - L} \times 100\right)\right)$$

Donde:

- $x$es el valor registrado;
- Les el límite inferior de normalización;
- Ues el límite superior;
- $N(x)$representa el riesgo normalizado directo;
- $N_i(x)$representa el riesgo normalizado inverso.

Fórmula general del índice de riesgo.

$$IR = 0.18N_{Ruido} + 0.14N_{PM2.5} + 0.14N_{H2S} + 0.12N_{CO} + 0.10N_{LEL} + 0.10N_{Iluminación}^{-1} + 0.12N_{Flexión} + 0.04N_{Capacitación}^{-1} + 0.03N_{EPP}^{-1} + 0.02N_{IPER}^{-1} + 0.01N_{Acciones}^{-1}$$

ANEXO L. PROCEDIMIENTO PARA ACTUALIZAR LOS DATOS

- **Actualización temporal mediante la interfaz**

1. Abrir la aplicación.
2. Ingresar en la pestaña Ingreso de datos.
3. Escribir el nombre del nuevo periodo.
4. Ingresar las mediciones instrumentales.
5. Registrar los porcentajes de capacitación, EPP, IPER y acciones cerradas.
6. Revisar las unidades.
7. Presionar Guardar medición mensual SGPRL.
8. Verificar el nuevo registro en la tabla histórica.
9. Consultar el semáforo de variables críticas.
10. Revisar el nuevo índice global.
11. Generar el informe PDF.
12. Guardar el informe junto con los registros instrumentales originales.

- **Verificación previa de los datos**

Antes de efectuar el registro, comprobar:

- fecha de medición;
- código del instrumento;
- vigencia de la calibración;
- área y punto de muestreo;
- unidad de medida;
- persona responsable;
- consistencia del valor;
- respaldo documental;
- correspondencia con el periodo.