

Artículo Académico • Investigación Original

DOI: <https://doi.org/10.67827/xhckzw05>

Aportes de normas internacionales a la seguridad laboral en un frigorífico paraguayo con amoníaco

Contributions of international standards to occupational safety in a Paraguayan ammonia refrigeration plant

✉ **Ada Asunción Balbuena Guillen**,  mail: balbuena.ada@gmail.com

✉ **Rodrigo Amadeo Galeano López**,  mail: rodrigogale48@gmail.com

✉ **Lucia Viviana Cuéllar de Delvalle**,  mail: vivi.lucia.cuellar@gmail.com

Programa Académico – Maestría en Gerencia en Seguridad y Salud Ocupacional
Instituto Superior Vía Pro Desarrollo, Asunción, Paraguay

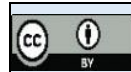
Recibido: 27/08/2025

Aceptado: 30/06/2026

Publicado: 30/08/2026

Cómo citar este artículo:

Balbuena Guillen, A. A., Galeano López, R. A. & Cuéllar de Delvalle, L. V. (2026). Diseño de un sistema de gestión para el manejo seguro de amoníaco en una planta frigorífica paraguaya. *VIACONCIENCIA*, 1(2), 146-163. DOI: <https://doi.org/10.67827/xhckzw05>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional © 2026
Instituto Superior Vía Pro Desarrollo. Todos los derechos reservados.

RESUMEN

El presente estudio analiza los aportes que las normas internacionales voluntarias ISO 45001:2018 y ANSI/IIAR 09:2020 pueden brindar al marco obligatorio paraguayo de seguridad laboral —en particular a la Resolución 846/15 del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS)— para la gestión eficiente de la seguridad de los trabajadores en las áreas de manejo de amoníaco (NH₃) de una planta frigorífica de San Antonio, Paraguay; el alcance se circunscribe estrictamente a la seguridad y salud en el trabajo, sin abordar la gestión ambiental de la sustancia. La investigación adoptó un enfoque cualitativo-descriptivo, de diseño no experimental, transversal y de campo, que trianguló la matriz de valoración de riesgos de la Resolución 846/15, dos listas de verificación construidas sobre los requisitos de las normas internacionales y entrevistas semiestructuradas a ocho informantes clave. Los resultados valoraron ocho riesgos laborales en la sala de máquinas —37,5 % de nivel importante— y

revelaron conformidades de solo 33,2 % frente a la ISO 45001 y 33,3 % frente a la ANSI/IIAR 09, identificando como aportes complementarios de las normas voluntarias la estructura de gestión, la participación de los trabajadores, la gestión documental y los requisitos técnicos específicos para NH₃ que el marco nacional no detalla. Sobre esos aportes se diseñó un sistema de gestión de seguridad laboral cuya implementación simulada redujo cinco escenarios críticos desde niveles intolerables o importantes hasta moderados o tolerables. Se concluye que las normas voluntarias complementan operativamente la Resolución 846/15 y fortalecen la protección de los trabajadores expuestos al amoníaco.

Palabras clave: seguridad y salud en el trabajo; amoníaco; refrigeración industrial; evaluación de riesgos laborales; normas internacionales; frigoríficos

ABSTRACT

This study analyses the contributions that the voluntary international standards ISO 45001:2018 and ANSI/IIAR 09:2020 can make to the mandatory Paraguayan occupational safety framework—in particular Resolution 846/15 of the Ministry of Public Health and Social Welfare (MSPyBS)—for the efficient management of workers' safety in the ammonia (NH₃) handling areas of a refrigeration plant in San Antonio, Paraguay; the scope is strictly limited to occupational health and safety, without addressing the environmental management of the substance. The research adopted a qualitative-descriptive approach, with a non-experimental, cross-sectional, field-based design, which triangulated the risk assessment matrix of Resolution 846/15, two checklists built on the requirements of the international standards, and semi-structured interviews with eight key informants. The results assessed eight occupational risks in the machine room—37.5 % at a significant level—and revealed compliance of only 33.2 % with ISO 45001 and 33.3 % with ANSI/IIAR 09, identifying as complementary contributions of the voluntary standards the management structure, worker participation, documentary management and the NH₃-specific technical requirements that the national framework does not detail. On the basis of these contributions, an occupational safety management system was designed, whose simulated implementation reduced five critical scenarios from intolerable or significant levels to moderate or tolerable levels. It is concluded that voluntary standards operationally complement Resolution 846/15 and strengthen the protection of workers exposed to ammonia.

Keywords: *occupational health and safety; ammonia; industrial refrigeration; occupational risk assessment; international standards; refrigeration plants*

1. INTRODUCCIÓN

El amoníaco anhidro (NH_3) continúa siendo el refrigerante dominante en la refrigeración industrial de mediana y gran escala por su alta eficiencia térmica, su bajo costo relativo y su potencial nulo de agotamiento de la capa de ozono (Khudhur et al., 2022; McDowell & Seeton, 2015; United Nations Environment Programme [UNEP], 2019). Sin embargo, se trata de una sustancia tóxica y corrosiva: la exposición a concentraciones elevadas produce daños severos en el sistema respiratorio, los ojos y la piel, y puede resultar letal (American Chemical Society, 2019; National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2011; Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2022). La evidencia internacional confirma que los accidentes vinculados a la refrigeración con amoníaco constituyen un problema persistente de seguridad laboral: solo en China, entre 2010 y 2020 se registraron 82 accidentes con 189 muertes y 1.081 lesionados, atribuidos principalmente a fallas de equipos (67,1 %) y a factores humanos (20,7 %) (Luo et al., 2022).

Paraguay no es ajeno a este patrón. En 2017, una fuga en una planta de Mariano Roque Alonso obligó a evacuar a más de 100 personas (ABC Color, 2017); en 2020, un evento similar en Limpio movilizó masivamente a los equipos de emergencia (Última Hora, 2020); y en 2024, una fuga de gran magnitud en una planta de San Lorenzo expuso a más de 70 trabajadores a gases tóxicos, de los cuales 20 requirieron atención médica de urgencia (La Nación, 2024). La planta frigorífica objeto de este estudio, ubicada en San Antonio y con aproximadamente 600 trabajadores, presenta condiciones análogas: ausencia de procedimientos estandarizados, escaso seguimiento de la capacitación, carencia de monitoreo continuo de NH_3 en la sala de máquinas y deficiencias en los planes de respuesta ante emergencias.

Corresponde delimitar con precisión el objeto del estudio: esta investigación aborda exclusivamente la *seguridad laboral* —la protección de la salud y la integridad de los trabajadores expuestos al amoníaco—, ámbito regulado en Paraguay por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS) a través de la Resolución 846/15, junto con el Decreto N.º 14.390/92 y la Ley N.º 5804/17. La gestión ambiental del amoníaco (emisiones, vertidos, autorizaciones ambientales), que es competencia de la autoridad ambiental y no del MSPyBS, queda expresamente fuera del alcance de este trabajo.

El marco nacional obligatorio provee el instrumento de valoración de riesgos, pero no detalla la estructura de gestión ni los requisitos técnicos específicos para sistemas de

refrigeración con amoníaco. Ese vacío puede ser cubierto por dos normas internacionales de adopción voluntaria: la ISO 45001:2018, que establece los requisitos de un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST) bajo el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) en sus cláusulas 4 a 10 (International Organization for Standardization [ISO], 2018a), y la ANSI/IIAR 09:2020, que fija los requisitos mínimos de seguridad para sistemas de refrigeración con amoníaco de circuito cerrado ya existentes —documentación técnica, materiales, inspección y mantenimiento, procedimientos operativos, señalización, equipos de emergencia, interruptores, detectores y ventilación— (International Institute of Ammonia Refrigeration [IIAR], 2020). El estado del arte reciente examina la eficacia de la ISO 45001 (Liu et al., 2023) y la seguridad de los sistemas de refrigeración con NH₃ (Khudhur et al., 2022), pero no se identificaron estudios que analicen la articulación de estas normas voluntarias con el marco regulatorio paraguayo de seguridad laboral en el sector frigorífico: ese es el vacío que este estudio aborda.

En consecuencia, la pregunta de investigación se formula así: ¿qué aportes brindan las normas internacionales voluntarias ISO 45001:2018 y ANSI/IIAR 09:2020 al marco de la Resolución 846/15 del MSPyBS para la gestión eficiente de la seguridad laboral en las áreas de manejo de amoníaco de una planta frigorífica paraguaya? El objetivo general consistió en analizar dichos aportes en el caso de la planta de San Antonio. Los objetivos específicos fueron: a) valorar los riesgos laborales de la sala de máquinas mediante la matriz de la Resolución 846/15; b) determinar el grado de conformidad de la gestión de seguridad laboral de la planta con los requisitos de ambas normas internacionales; c) identificar los requisitos de las normas voluntarias que complementan al marco nacional obligatorio; y d) diseñar, a partir de esos aportes, un sistema de gestión de seguridad laboral para el manejo de NH₃ y estimar mediante simulación su efecto potencial sobre los niveles de riesgo valorados. Como supuesto de investigación —verificable con el diseño adoptado— se planteó que la incorporación de los requisitos de las normas internacionales voluntarias al marco de la Resolución 846/15 permite identificar y controlar brechas de seguridad laboral que el cumplimiento normativo nacional por sí solo no cubre, lo que se refleja en menores niveles de riesgo valorados en escenarios simulados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Riesgos laborales del amoníaco en la refrigeración industrial

El amoníaco es un gas incoloro y de olor penetrante, empleado en refrigeración industrial por su eficiencia energética (Danfoss, 2015; IIAR, 2014). Desde la perspectiva de la seguridad laboral, sus peligros dominantes son la toxicidad aguda por inhalación —con atmósferas inmediatamente peligrosas para la vida o la salud (IDLH) alcanzables con rapidez en espacios confinados como las salas de máquinas—, la corrosividad sobre piel y mucosas, y el riesgo de incendio en mezclas con aire (NFPA, 2020; NIOSH, 2011). La revisión de Khudhur et al. (2022) sobre sistemas industriales de refrigeración con NH₃ concluye que las fugas se originan de forma predominante en válvulas, uniones y componentes deteriorados, y que la protección de los trabajadores exige combinar controles de ingeniería —detección automática, ventilación de emergencia, válvulas verificadas— con controles administrativos como procedimientos escritos, señalización y capacitación específica (OSHA, 2022).

2.2 El marco obligatorio paraguayo de seguridad laboral

En Paraguay, la protección de la seguridad y salud de los trabajadores se estructura sobre tres instrumentos: el Decreto N.º 14.390/92, que aprueba el Reglamento General Técnico de Seguridad, Higiene y Medicina en el Trabajo (Ministerio de Justicia y Trabajo, 1992); la Ley N.º 5804/17, que crea el Sistema Nacional de Prevención de Riesgos Laborales (Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social [MTESS], 2017); y la Resolución N.º 846/15 del MSPyBS (2015), que aprueba el reglamento de vigilancia de la salud y seguridad ocupacional y provee la matriz de valoración de riesgos utilizada en este estudio. Este marco es de cumplimiento obligatorio y define el estándar mínimo exigible; sin embargo, no prescribe una arquitectura de sistema de gestión ni requisitos técnicos específicos para instalaciones de refrigeración con amoníaco, aspectos en los que las normas voluntarias internacionales pueden operar como complemento.

2.3 Las normas internacionales voluntarias: ISO 45001:2018 y ANSI/IIAR 09:2020

La ISO 45001:2018 organiza el sistema de gestión de la SST según la estructura de alto nivel de las normas ISO, con siete bloques de requisitos: contexto de la organización (cláusula 4), liderazgo y participación de los trabajadores (cláusula 5), planificación —incluida la identificación de peligros y evaluación de riesgos— (cláusula 6), apoyo —competencia, comunicación e información documentada— (cláusula 7), operación —control operacional, gestión del cambio y preparación ante emergencias— (cláusula 8), evaluación del desempeño —seguimiento, auditoría interna y revisión por la dirección— (cláusula 9) y mejora continua (cláusula 10), articulados en el ciclo PHVA (ISO, 2018a). Su implementación cuenta con

directrices específicas en la ISO 45002:2023 (ISO, 2023), y la evidencia empírica reciente identifica el compromiso de la alta dirección como el factor raíz de la eficacia de las certificaciones (Liu et al., 2023).

Por su parte, la ANSI/IIAR 09:2020 establece los requisitos mínimos de seguridad para sistemas de refrigeración con amoníaco de circuito cerrado ya existentes, sin exigir rediseños totales sino la alineación progresiva de la instalación (IIAR, 2020). Sus requisitos fundamentales comprenden: documentación técnica del sistema (§4.1.1) y compatibilidad de materiales (§4.1.2); plan de inspección y mantenimiento con registros trazables (§5.1); procedimientos operativos escritos conocidos por los trabajadores (§6.1); señalización de tuberías, válvulas y salidas (§7.2.9); duchas y lavajos accesibles (§7.3.7); interruptores de corte rápido de energía (§7.3.11); detectores de amoníaco con alarmas (§7.3.12); y ventilación con extracción de emergencia (§7.3.13). Ambas normas se apoyan, como proceso transversal, en los principios de gestión del riesgo de la ISO 31000:2018 (ISO, 2018b) y en las directrices de la Organización Internacional del Trabajo sobre sistemas de gestión de la SST (OIT, 2022).

2.4 Evaluación de riesgos laborales como fundamento del sistema de gestión

Desde la formulación pionera de Fine (1971), que propuso ponderar matemáticamente consecuencia, exposición y probabilidad para priorizar la corrección de peligros, las metodologías matriciales se consolidaron como herramientas de decisión que traducen juicios técnicos en categorías ordinales de actuación. La matriz de la Resolución 846/15 sigue esta tradición: combina la severidad de la consecuencia con la probabilidad de ocurrencia para clasificar cada riesgo como trivial, tolerable, moderado, importante o intolerable, y de esa clasificación se derivan la urgencia y el tipo de medidas preventivas. La literatura y las propias normas coinciden en que la valoración de riesgos solo genera valor preventivo cuando sus resultados alimentan un sistema de gestión que formalice responsabilidades, procedimientos, registros e indicadores (ISO, 2018a; OIT, 2022): esa articulación entre el instrumento nacional de valoración y la arquitectura de gestión de las normas voluntarias es el eje conceptual de este estudio.

3. METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque cualitativo de carácter descriptivo, con alcance exploratorio y propositivo, apropiado para interpretar la gestión cotidiana de la seguridad laboral en un contexto industrial real sin manipulación de variables (Hernández et al., 2022). El diseño fue no experimental, transversal y de campo. Los datos se recolectaron entre noviembre

de 2024 y marzo de 2025 en una planta frigorífica de San Antonio, Paraguay, dedicada al procesamiento y conservación de productos cárnicos, con aproximadamente 600 trabajadores; la unidad de análisis fue la sala de máquinas, sector crítico donde operan los sistemas de compresión y distribución de amoníaco. Dado que la implementación real de un sistema de gestión excede el alcance académico del trabajo, el diseño incorporó una simulación estructurada, aplicando los procedimientos diseñados a cinco escenarios de riesgo representativos y comparando los niveles valorados antes y después de las medidas.

La muestra, seleccionada mediante muestreo no probabilístico intencional, quedó integrada por ocho informantes clave con responsabilidades técnicas, operativas y preventivas: tres del Departamento de Mantenimiento (jefe de mantenimiento, responsable de planificación y jefe de servicios), dos del Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional (jefe y supervisor de seguridad) y tres supervisores operativos de la sala de máquinas.

3.1 Instrumentos y procedimiento de valoración

Se triangularon tres instrumentos. Primero, una matriz de valoración de riesgos construida según la Resolución 846/15 del MSPyBS, cuyo mecanismo es el siguiente: para cada peligro identificado se estima la consecuencia potencial (ligera daña, daña o extremadamente daña) y la probabilidad de ocurrencia (baja, media o alta); el cruce de ambas dimensiones en la tabla de valoración de la Resolución determina el nivel de riesgo (trivial, tolerable, moderado, importante o intolerable). Cada valoración fue asignada por consenso del equipo investigador a partir de la convergencia de tres fuentes de evidencia: las mediciones y estudios técnicos disponibles en la planta (mediciones de ruido superiores a 90 dBA en la zona de compresores, estudios termográficos trimestrales de tableros eléctricos y análisis bimestrales de vibraciones), la observación directa en campo de condiciones, prácticas y antecedentes documentados de fugas e incidentes, y el testimonio de los ocho informantes clave recogido mediante entrevistas semiestructuradas. Cada peligro quedó documentado en una ficha con su descripción, la evidencia considerada, la valoración resultante y las medidas preventivas asociadas, lo que permite la trazabilidad y la réplica del procedimiento.

Segundo, dos listas de verificación normativas de respuesta dicotómica (cumple / no cumple / no aplica): una de 214 ítems que operacionaliza los requisitos de las cláusulas 4 a 10 de la ISO 45001:2018, y otra de nueve requisitos fundamentales derivados de la ANSI/IIAR 09:2020 (los detallados en la sección 2.3). El criterio de decisión fue la existencia de evidencia objetiva verificable: un ítem se calificó como conforme únicamente cuando la revisión documental, la inspección de campo o la entrevista técnica permitieron constatar el

cumplimiento; la ausencia o insuficiencia de evidencia se calificó como no conforme. La aplicación se realizó con la colaboración del jefe de SySO, el jefe de mantenimiento, el jefe de servicios y supervisores de sala de máquinas. Tercero, las entrevistas semiestructuradas complementaron ambos instrumentos, revelando prácticas informales y brechas no documentadas. El análisis siguió una estrategia de contenido temático con triangulación metodológica.

En cuanto a las consideraciones éticas, la participación de los informantes fue voluntaria y con consentimiento informado, no se registraron datos personales y la identidad de la empresa se mantiene en reserva por acuerdo de confidencialidad. Como decisión metodológica, la evaluación se realizó a nivel sectorial y no por puesto individual, dado que la sala de máquinas opera con dos técnicos por turno con tareas rotativas.

4. RESULTADOS

4.1 Valoración de los riesgos laborales en la sala de máquinas

La aplicación del procedimiento descrito en la sección 3.1 permitió valorar ocho peligros laborales en la sala de máquinas (Tabla 1); las vibraciones, adecuadamente gestionadas mediante el análisis predictivo bimestral vigente, no se valoraron como riesgo activo. Del total, el 37,5 % se clasificó como importante, el 25 % como moderado y el 37,5 % como tolerable, sin riesgos triviales ni intolerables en la evaluación inicial (Figura 1). Los riesgos importantes corresponden a la exposición al amoníaco —con antecedentes reales de fugas por deterioro de válvulas y tuberías—, al riesgo eléctrico en tableros con antecedentes de incendio de componentes y a las deficiencias organizativas de la gestión de mantenimiento: ausencia de procedimientos escritos, falta de registro sistemático de inspección de válvulas de seguridad, señalización prácticamente inexistente y simulacros infrecuentes. El riesgo químico trasciende el sector técnico, pues las áreas climatizadas de producción operan con evaporadores de tipo inundado con carga considerable de amoníaco líquido y un número elevado de trabajadores expuestos en caso de fuga.

Tabla 1

Valoración de los riesgos laborales identificados en la sala de máquinas según la matriz de la Resolución 846/15

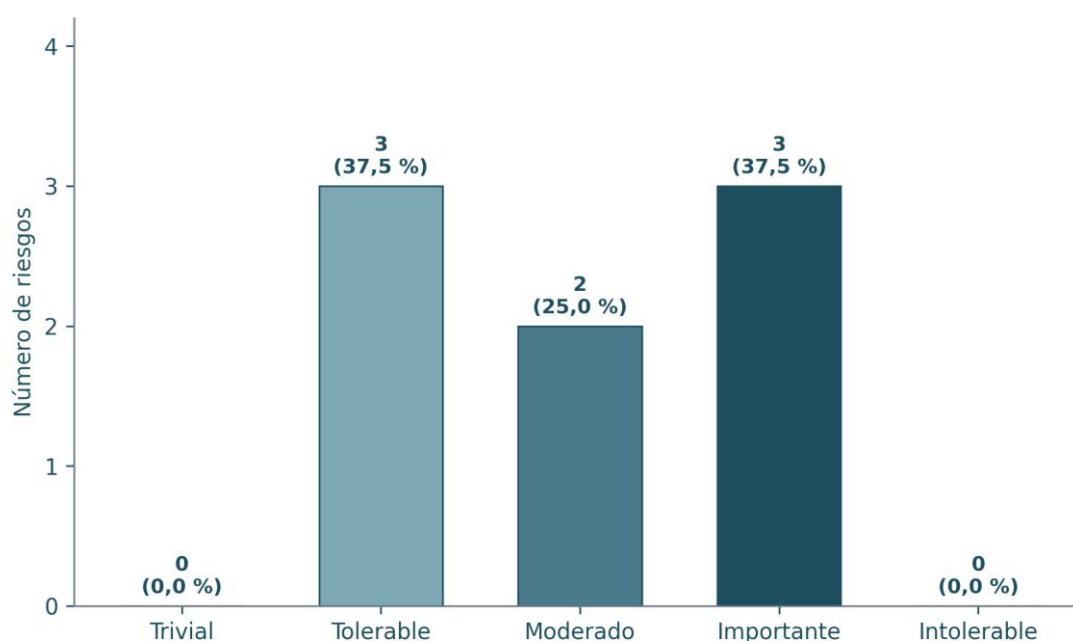
Peligro identificado	Categoría	Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo
Exposición al ruido (> 85 dBA en zona de compresores)	Físico	Dañino	Media	Moderado

Peligro identificado	Categoría	Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo
Iluminación deficiente en zonas puntuales	Físico	Dañino	Baja	Tolerable
Estrés térmico por carga de motores y baja renovación de aire	Físico	Dañino	Media	Moderado
Contacto con instalaciones eléctricas energizadas (380 V)	Físico	Extremadamente dañino	Baja	Importante
Exposición a amoníaco (fugas por válvulas y tuberías)	Químico	Extremadamente dañino	Media	Importante
Atrapamientos, golpes o caídas en tareas operativas	Mecánico	Dañino	Baja	Tolerable
Posturas forzadas y accesos difíciles (entretecho)	Ergonómico	Dañino	Baja	Tolerable
Deficiencias en la gestión de mantenimiento y control operativo	Organizativo	Dañino	Alta	Importante

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

Figura 1

Distribución de los niveles de riesgo en la evaluación inicial de la sala de máquinas (n = 8)



Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

4.2 Conformidad con los requisitos de las normas internacionales

La verificación de conformidad arrojó resultados convergentes en ambas normas (Tabla 2 y Figura 2). Respecto de la ISO 45001:2018, solo el 33,2 % de los 214 ítems resultó conforme; las no conformidades se concentraron en cuatro bloques de requisitos: información documentada y procedimientos (cláusula 7.5), gestión del cambio (cláusula 8.1.3), seguimiento

y evaluación del desempeño en seguridad (cláusula 9) y mecanismos formales de consulta y participación de los trabajadores (cláusula 5.4). Como fortalezas se constataron prácticas de mantenimiento predictivo —termografía trimestral y análisis de vibraciones— alineadas con el control operacional de la cláusula 8.

Tabla 2

Resultados globales de las listas de verificación normativas aplicadas en la planta

Norma de referencia	Ítems evaluados	Cumple (%)	No cumple (%)
ISO 45001:2018 (sistema de gestión de la SST)	214	33,2 %	66,8 %
ANSI/IIAR 09:2020 (requisitos mínimos para sistemas con NH ₃)	9	33,3 %	66,7 %

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

La verificación técnica según la ANSI/IIAR 09:2020 mostró conformidad en tres de los nueve requisitos fundamentales (33,3 %). La Tabla 3 detalla, requisito por requisito, la evidencia constatada y el estado resultante: la planta cumple en compatibilidad de materiales, disponibilidad de lavajos e interruptores de corte, pero incumple en documentación técnica, plan formal de inspección y mantenimiento, procedimientos operativos escritos, señalización, detección automática de NH₃ y ventilación de emergencia.

Tabla 3

Cumplimiento por requisito fundamental de la norma ANSI/IIAR 09:2020 en la sala de máquinas

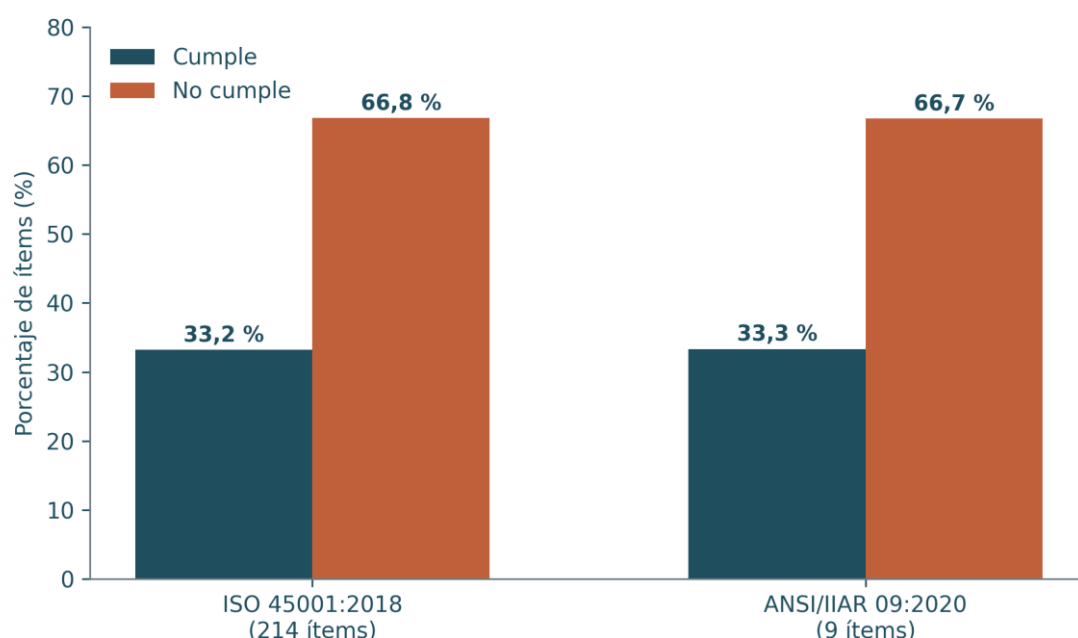
Requisito fundamental ANSI/IIAR 09:2020	Cláusula	Evidencia constatada en la planta	Estado
Documentación técnica del sistema	§4.1.1	Planos, manuales y hojas técnicas parcialmente disponibles o desactualizados	No conforme
Materiales de construcción compatibles con NH ₃	§4.1.2.1	Materiales del circuito compatibles y resistentes a presión y corrosión	Conforme
Plan de inspección y mantenimiento con registros trazables	§5.1	Sin sistema formal ni registro sistemático de válvulas de seguridad	No conforme
Procedimientos operativos escritos (POE)	§6.1	Inexistentes para intervenciones críticas	No conforme
Señalización de seguridad de tuberías, válvulas y salidas	§7.2.9	Señalización prácticamente inexistente	No conforme
Duchas y lavajos accesibles	§7.3.7	Lavajos portátiles disponibles en el sector	Conforme

Requisito fundamental ANSI/IIAR 09:2020	Cláusula	Evidencia constatada en la planta	Estado
Interruptores de corte rápido de energía	§7.3.11	Pulsadores de corte accesibles en tableros de la sala	Conforme
Detectores de amoníaco con alarmas	§7.3.12	Sin sensores automáticos con alarma audiovisual	No conforme
Ventilación con extracción de emergencia	§7.3.13	Sin ventilación de emergencia controlada para contingencias	No conforme

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en el checklist técnico de la tesis de origen y su discusión de resultados. Asignación de estados consolidada por el equipo editorial. [verificar con los autores]

Figura 2

Cumplimiento normativo comparado según las listas de verificación ISO 45001:2018 y ANSI/IIAR 09:2020



Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

4.3 Aportes de las normas voluntarias al marco nacional obligatorio

El contraste entre las brechas detectadas y los requisitos de cada marco permitió responder directamente a la pregunta de investigación. La Resolución 846/15 provee un instrumento robusto de valoración de riesgos y establece obligaciones generales de prevención, pero no prescribe la arquitectura de gestión ni los requisitos técnicos específicos para instalaciones con amoníaco. Las normas voluntarias cubren exactamente esos vacíos: la ISO 45001:2018 aporta la estructura de liderazgo y participación, la gestión documental controlada, la gestión del cambio, los indicadores de desempeño, la auditoría interna y el ciclo de mejora continua; la ANSI/IIAR 09:2020 aporta los requisitos técnicos propios del NH₃ —

documentación del sistema, procedimientos escritos, señalización, detección, ventilación y equipos de emergencia—. La Tabla 4 sistematiza esta complementariedad, que constituye el hallazgo central del estudio.

Tabla 4

Aportes complementarios de las normas internacionales voluntarias al marco de la Resolución 846/15

Componente de la gestión de la seguridad laboral	Lo que exige el marco nacional (Res. 846/15 y normativa conexa)	Aporte complementario de las normas voluntarias
Valoración de riesgos	Matriz de consecuencia × probabilidad y medidas preventivas	ISO 45001 (cl. 6): proceso sistemático y continuo integrado al ciclo PHVA
Estructura y liderazgo	Obligaciones generales del empleador	ISO 45001 (cl. 5): roles definidos, compromiso de la alta dirección y participación formal de los trabajadores
Gestión documental	Registros exigidos de forma general	ISO 45001 (cl. 7.5): información documentada controlada; IIAR 09 (§4.1.1): documentación técnica del sistema NH ₃
Control operacional	Condiciones mínimas de higiene y seguridad	ISO 45001 (cl. 8): gestión del cambio; IIAR 09 (§6.1): POE específicos para intervenciones con NH ₃
Requisitos técnicos NH ₃	No detallados	IIAR 09 (§7.2.9–§7.3.13): señalización, lavajos, interruptores, detectores y ventilación de emergencia
Emergencias	Plan de emergencia exigido	ISO 45001 (cl. 8.2) e IIAR 09: preparación, simulacros periódicos y equipos específicos
Verificación y mejora	Fiscalización externa	ISO 45001 (cl. 9-10): indicadores, auditoría interna, revisión por la dirección y mejora continua

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

4.4 Diseño del sistema de gestión de seguridad laboral para el manejo de amoníaco

Sobre la base de los aportes identificados se diseñó el Sistema de Gestión para el Manejo Seguro de Amoníaco (SGMSA), entendido en este estudio como un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo aplicado a las áreas donde se manipula NH₃. El SGMSA se estructura según el ciclo PHVA e integra cuatro componentes: un manual del sistema con política, alcance y estructura organizacional de roles (alta dirección, encargado de SST, supervisor de mantenimiento, jefes de área, brigada de emergencia y personal operativo); diez procedimientos operativos estandarizados (POE-SGMSA-001 a 010), que cubren desde la identificación de riesgos hasta la respuesta a emergencias, la gestión de cambios, la auditoría

interna y el tratamiento de no conformidades; doce formularios de registro y trazabilidad (F-SGMSA-001 a 012); y un tablero de diez indicadores de desempeño, cuya selección principal se presenta en la Tabla 6.

4.5 Simulación de implementación y comparación de escenarios

La verificación del supuesto de investigación se efectuó mediante la simulación estructurada descrita en la metodología, aplicando el formulario F-SGMSA-003 a cinco escenarios críticos derivados de la evaluación inicial. La Tabla 5 y la Figura 3 comparan los niveles de riesgo antes y después de las medidas del sistema: mantenimiento trimestral de válvulas, sensores calibrados con alarmas operativas, capacitación obligatoria con simulacros, inspección mensual de extractores con monitoreo continuo de NH_3 , inventario y control mensual de equipos de protección personal, y plan de emergencia actualizado con roles y medios de comunicación asignados. Los dos escenarios inicialmente intolerables descendieron a tolerable, y los tres importantes se redujeron a moderado o tolerable. Durante la simulación se cumplieron las metas de los indicadores de preparación operativa y trazabilidad documental: asistencia completa en las capacitaciones, desempeño apto en los simulacros y uso correcto de todos los formularios del sistema.

Tabla 5

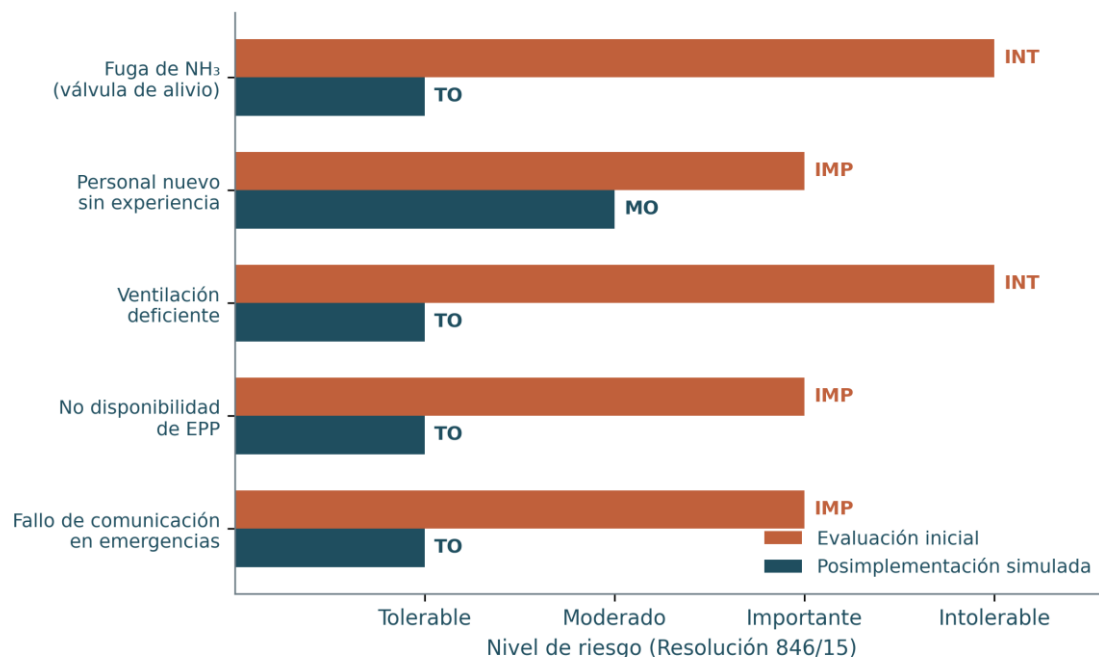
Comparación de los niveles de riesgo antes y después de la implementación simulada del SGMSA

Escenario crítico evaluado	Riesgo potencial	Nivel inicial	Nivel posimplementación
Fuga de NH_3 en válvula de alivio	Intoxicación grave por inhalación	Intolerable	Tolerable
Personal nuevo sin experiencia	Manejo inadecuado de válvulas; exposición accidental	Importante	Moderado
Ventilación deficiente	Acumulación de vapores en zonas cerradas	Intolerable	Tolerable
No disponibilidad inmediata de EPP	Exposición sin protección durante intervención	Importante	Tolerable
Fallo de comunicación en emergencias	Descoordinación y retraso en la evacuación	Importante	Tolerable

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

Figura 3

Niveles de riesgo por escenario crítico antes y después de la implementación simulada del SGMSA



Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen.

Tabla 6

Indicadores principales de desempeño del sistema de gestión de seguridad laboral propuesto

Código	Indicador	Frecuencia	Meta
IND-001	Capacitaciones realizadas sobre planificadas	Mensual / anual	≥ 90 %
IND-002	Tiempo promedio de respuesta a emergencias	Por evento	≤ 5 min
IND-003	Equipos mantenidos sobre programados	Mensual	≥ 95 %
IND-005	Participación del personal en simulacros	Trimestral	≥ 85 %
IND-007	Hallazgos de auditoría cerrados en plazo	Semestral / anual	≥ 90 %
IND-010	Cumplimiento de requisitos ISO 45001 e IIAR 09	Anual	≥ 95 %

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en la tesis de origen. Selección de seis de los diez indicadores propuestos.

5. DISCUSIÓN

Los hallazgos verifican el supuesto de investigación: los requisitos de las normas voluntarias cubren brechas de seguridad laboral que el cumplimiento del marco nacional por sí solo no controla, y su incorporación —simulada mediante el SGMSA— redujo los cinco escenarios críticos desde niveles intolerables o importantes hasta moderados o tolerables. Este resultado es coherente con la lógica preventiva del ciclo PHVA de la ISO 45001:2018 (ISO,

2018a) y con la tradición matricial de priorización de riesgos iniciada por Fine (1971), según la cual la formalización de controles actúa simultáneamente sobre la probabilidad y la severidad de las consecuencias.

Los resultados dialogan con la evidencia internacional reciente. Las brechas dominantes detectadas en la planta —mantenimiento sin registros trazables y capacitación insuficiente— coinciden con las causas principales de los 82 accidentes de refrigeración con amoníaco documentados en China entre 2010 y 2020, atribuidos en un 67,1 % a fallas de equipos y en un 20,7 % a factores humanos (Luo et al., 2022), lo que respalda la prioridad asignada en el SGMSA a los procedimientos de mantenimiento (POE-SGMSA-004) y capacitación (POE-SGMSA-006). Asimismo, la revisión de Khudhur et al. (2022) identifica válvulas y uniones como orígenes predominantes de fugas, en línea con los antecedentes constatados en la planta y con la evidencia paraguaya de incidentes con víctimas y evacuaciones masivas (ABC Color, 2017; Última Hora, 2020; La Nación, 2024). Por último, el papel central que el SGMSA asigna a la alta dirección es consistente con Liu et al. (2023), quienes identifican la falta de compromiso directivo como la barrera raíz de la eficacia de la ISO 45001. Cabe subrayar dos precisiones interpretativas: la ANSI/IIAR 09:2020 no exige el rediseño de los sistemas existentes sino su alineación progresiva (IIAR, 2020), lo que hace la propuesta económicamente realista; y los aportes analizados se circunscriben a la seguridad laboral, sin extenderse a la gestión ambiental del amoníaco, que corresponde a otro ámbito de competencia.

Entre las limitaciones deben señalarse: el alcance restringido a una única planta, que limita la generalización; la naturaleza simulada de la validación, cuyos niveles de riesgo residual proyectados deberán contrastarse con mediciones reales de una implementación efectiva; el carácter cualitativo de las valoraciones, mitigado por la triangulación y el consenso del equipo pero no exento de subjetividad; la evaluación sectorial en lugar del análisis por puesto; y la disponibilidad parcial de documentación técnica, que obligó a complementar la verificación con entrevistas y observación de campo. Futuras investigaciones deberían documentar implementaciones reales del modelo, incorporar mediciones cuantitativas de higiene ocupacional y extender el análisis de complementariedad normativa a otros sectores paraguayos que manipulan sustancias peligrosas.

6. CONCLUSIONES

En respuesta a la pregunta de investigación, el estudio determinó que las normas internacionales voluntarias ISO 45001:2018 y ANSI/IIAR 09:2020 aportan al marco de la Resolución 846/15 del MSPyBS precisamente los componentes que este no detalla para la

gestión de la seguridad laboral en áreas con amoníaco: la primera, la arquitectura de gestión —liderazgo, participación de los trabajadores, gestión documental, gestión del cambio, indicadores, auditoría y mejora continua—; la segunda, los requisitos técnicos específicos del NH₃ —documentación del sistema, procedimientos escritos, señalización, detección automática, ventilación y equipos de emergencia—. El diagnóstico que sustenta esta conclusión mostró ocho riesgos laborales valorados —tres de nivel importante— y conformidades de apenas 33,2 % y 33,3 % frente a cada norma, con las brechas detalladas por cláusula y por requisito.

El supuesto de investigación quedó verificado en los términos del diseño adoptado: la incorporación simulada de los aportes normativos, articulada en el SGMSA, redujo los cinco escenarios críticos evaluados desde niveles intolerables o importantes hasta moderados o tolerables. El aporte original del trabajo consiste en la sistematización, para el contexto frigorífico paraguayo, de la complementariedad entre el marco obligatorio nacional de seguridad laboral y las normas voluntarias internacionales, acompañada de la documentación operativa completa —manual, diez procedimientos estandarizados, formularios de trazabilidad e indicadores— que permite replicar y auditar el modelo. Debe reiterarse que estas conclusiones se refieren exclusivamente a la protección de los trabajadores y no a la gestión ambiental del amoníaco.

Se recomienda a la organización formalizar el sistema con respaldo explícito de la alta dirección —condición identificada como crítica por la evidencia empírica—, implementarlo gradualmente con auditorías internas trimestrales, priorizar el cierre de las seis no conformidades técnicas de la ANSI/IIAR 09 detalladas en la Tabla 3, digitalizar la gestión documental y el seguimiento de indicadores, y reforzar la capacitación con simulacros semestrales. El modelo puede servir de referencia para otras plantas frigoríficas del país que busquen fortalecer la seguridad laboral en el manejo de sustancias peligrosas a partir del marco regulatorio vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Color. (2017, 7 de julio). Fuga de amoníaco obliga a evacuar planta frigorífica en Roque Alonso. ABC Color.
- American Chemical Society. (2019). Ammonia. <https://www.acs.org>
- Danfoss. (2015). La transición de HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial. <https://assets.danfoss.com/documents/latest/57197/BE144786420724es-000101.pdf>

- Fine, W. T. (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157–166. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(71\)90091-6](https://doi.org/10.1016/0022-4375(71)90091-6)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- International Institute of Ammonia Refrigeration. (2014). IIAR ammonia refrigeration management guidelines. IIAR.
- International Institute of Ammonia Refrigeration. (2020). ANSI/IIAR 9-2020: Minimum system safety requirements for existing closed-circuit ammonia refrigeration systems. IIAR.
- International Organization for Standardization. (2018a). ISO 45001:2018 – Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo – Requisitos con orientación para su uso. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018b). ISO 31000:2018 – Risk management: Guidelines. ISO.
- International Organization for Standardization. (2023). ISO 45002:2023 – Occupational health and safety management systems: General guidelines for the implementation of ISO 45001:2018. ISO.
- Khudhur, D. A., Tuan Abdullah, T. A., & Norazahar, N. (2022). A review of safety issues and risk assessment of industrial ammonia refrigeration system. *ACS Chemical Health & Safety*, 29(5), 394–404. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.2c00041>
- La Nación. (2024). Grave fuga de amoníaco en frigorífico provoca evacuación masiva. La Nación.
- Liu, X., Liu, Y., Li, H., & Wen, D. (2023). Identification and analysis of barriers to the effectiveness of ISO 45001 certification in Chinese certified organisations: A DEMATEL-ISM approach. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135447>
- Luo, C., Zhao, Y., & Xu, K. (2022). Study on the regularity of ammonia-related refrigeration accidents in China from 2010 to 2020. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8230. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148230>
- McDowell, T. P., & Seeton, C. J. (2015). Ammonia as a refrigerant. *ASHRAE Journal*, 57(7), 50–56.
- Ministerio de Justicia y Trabajo. (1992). Decreto N.º 14.390/92: Reglamento General Técnico de Seguridad, Higiene y Medicina en el Trabajo. Asunción, Paraguay.

- Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (2015). Resolución N.º 846/15: Por la cual se aprueba el reglamento de seguridad y salud en el trabajo. Asunción, Paraguay.
- Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. (2017). Ley N.º 5804/17: Sistema Nacional de Prevención de Riesgos Laborales. Asunción, Paraguay.
- National Fire Protection Association. (2020). NFPA 704: Standard system for the identification of the hazards of materials for emergency response. <https://www.nfpa.org>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2011). Ammonia, anhydrous: Lung damaging agent. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/>
- Occupational Safety and Health Administration. (2022). Ammonia refrigeration safety: Guidelines and regulations. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119>
- Organización Internacional del Trabajo. (2022). Directrices sobre los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo. OIT.
- Última Hora. (2020). Emergencia por fuga de amoníaco en frigorífico de Limpio. Última Hora.
- United Nations Environment Programme. (2019). Global study on refrigeration and air-conditioning: Safety and efficiency. UNEP. <https://www.unep.org>