



## Propuesta de Medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo en Operaciones de Reabastecimiento de Agua, PQS y AFFF en Autobombas del Aeropuerto Quito.

*Proposal of Occupational Health and Safety Measures in Water, PQS, and AFFF Refueling Operations for Aircraft Rescue and Firefighting Vehicles at Quito Airport.*

Hugo Patricio Enríquez Goyes<sup>1</sup>

[hpenriquez@itsoriente.edu.ec](mailto:hpenriquez@itsoriente.edu.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez<sup>2</sup>

[benjaminquito@bqc.com.ec](mailto:benjaminquito@bqc.com.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

Aurelio Iván Quito Álvarez<sup>3</sup>

[ivanquito@bqc.com.ec](mailto:ivanquito@bqc.com.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 06-02-2026

Publicación: 30-03-2026

**Como citar este artículo:** Enríquez, H. Quito, B. Quito, A. (2026). **Propuesta de Medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo en Operaciones de Reabastecimiento de Agua, PQS y AFFF en Autobombas del Aeropuerto Quito.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 1208-1248.

<sup>1</sup> Tecnólogo Superior en Control de Incendios y Operaciones de Rescate (ITECSUR, 2023), Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO, 2025). Máster en Prevención de Riesgos Laborales (2024), Ingeniería Aeronáutica (2025). Títulos propios Tech – México.

<sup>2</sup> Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

<sup>3</sup> Promotor y gestor de proyectos sociales (Capacitadora JYS), Formación técnica avanzada en participación y gobernanza comunitaria, mediación y resolución de conflictos (Capacitadora JYS), Tecnólogo en Promoción y Defensoría Social (Instituto Superior Tecnológico Jatun Yachay Wasi), Tecnólogo Superior Universitario en Seguridad y Salud Ocupacional (Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)).





### Resumen

El presente estudio desarrolla una propuesta técnica de Medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) aplicadas a las operaciones de reabastecimiento de agua, PQS y AFFF en las autobombas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI) del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito. Se parte del diagnóstico del Manual SSEI 2025 que contempla procedimientos operativos, donde no dispone de un estándar específico en materia de SST que regule los riesgos inherentes a dichas actividades. A través de una metodología cualitativa de revisión documental y normativa, se analizan directrices internacionales de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la NFPA 403 y 1500, y la RDAC Parte 153 de Ecuador, complementadas con evidencias científicas sobre la toxicidad de los compuestos PFAS presentes en los agentes espumantes AFFF. Los resultados evidencian deficiencias en la gestión preventiva, principalmente en el control de caídas en altura a distinto nivel, manipulación de sustancias químicas, ventilación de áreas cerradas y respuesta ante derrames de químicos. Como propuesta técnica, se plantea la propuesta de protocolos estandarizados de SST, que incluyan: uso obligatorio de arneses y líneas de vida certificadas, procedimientos de contención y neutralización de derrames de químicos, monitoreo ambiental periódico y programas de capacitación continua al personal operativo. Finalmente, el estudio concluye que la adopción de estas medidas fortalecerá la cultura de seguridad aeroportuaria, reducirá la siniestralidad laboral y garantizará la sostenibilidad operativa del SSEI, siendo replicable en otros aeropuertos del sistema nacional. **Palabras clave:** Seguridad y Salud en el Trabajo, reabastecimiento, autobombas, aeropuerto, AFFF.

### Abstract

This study develops a technical proposal for Occupational Health and Safety (OHS) measures applied to water, PQS, and AFFF refueling operations in Aircraft Rescue and Firefighting (ARFF) vehicles at Quito International Airport. The analysis begins with the finding that, although the SSEI Manual 2025 provides operational procedures, it lacks a specific OHS standard addressing the inherent risks of these activities. Through a qualitative methodology based on documentary and regulatory review, international guidelines from the International Civil Aviation Organization (ICAO), NFPA 403 and 1500, and Ecuadorian RDAC Part 153 are examined, alongside scientific evidence concerning the PFAS compounds found in AFFF foams. The results reveal weaknesses in preventive management, particularly regarding fall protection, chemical handling, confined space ventilation, and spill response. As a technical proposal, the study suggests implementing standardized OHS protocols, including the mandatory use of certified harnesses and lifelines, spill containment and neutralization procedures, regular environmental monitoring, and continuous training programs for operational personnel. The conclusions emphasize that adopting these measures will strengthen the airport safety culture, reduce occupational accident rates, and enhance the operational sustainability of the ARFF service. This proposal is designed to be applicable and replicable in other airports within the national aviation system, aligning with global OHS standards and ICAO's safety management principles. **Keywords:** Occupational Health and Safety, refueling, firefighting vehicles, airport, AFFF.





## **Introducción.**

Las operaciones de reabastecimiento de agentes extintores como agua, polvo químico seco, PQS, y espuma formadora de película acuosa, AFFF, en las autobombas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios, SSEI, constituyen una actividad esencial dentro de la seguridad operacional aeroportuaria. Estas tareas garantizan la respuesta inmediata ante emergencias aeronáuticas; sin embargo, implican riesgos laborales significativos, como caídas desde altura, exposición a agentes químicos, atrapamientos mecánicos y derrames contaminantes Organización de Aviación Civil Internacional (2020). En el caso del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito, el Manual SSEI (2025) establece los procedimientos técnicos para dichas operaciones, pero carece de medidas estandarizadas de Seguridad y Salud en el Trabajo, SST, lo que genera vulnerabilidades en la protección del personal.

En este contexto, la presente investigación busca fortalecer la cultura de seguridad aeroportuaria mediante la aplicación de medidas integrales que reduzcan los riesgos asociados al reabastecimiento de los agentes extintores. La pregunta que orienta el estudio es: ¿Qué medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo pueden implementarse de manera efectiva para reducir los riesgos en las operaciones de reabastecimiento de agua, PQS y AFFF en autobombas del Aeropuerto Internacional de Quito? Esta interrogante permite identificar las brechas existentes y diseñar estrategias preventivas alineadas con las normativas nacionales e internacionales.

La metodología adoptada corresponde a una revisión documental y normativa de carácter cualitativo. Se analizaron disposiciones





internacionales emitidas por la OACI y las normas NFPA 403 y NFPA 1500, junto con la Regulación de la Dirección de Aviación Civil, RDAC, Parte 153 que regula las operaciones del SSEI en Ecuador. Además, se revisó literatura técnica y científica relacionada con los riesgos derivados de la exposición a compuestos perfluoroalquilados (PFAS) presentes en el AFFF, reconocidos por su persistencia ambiental y posibles efectos adversos sobre la salud humana United States Environmental Protection Agency ,EPA, (2023).

Dentro del análisis evidenció deficiencias en la gestión preventiva, principalmente en la ausencia de procedimientos de control de exposición química, trabajos en altura y planes de contención de derrames. A partir de estos hallazgos, se propone un conjunto de medidas de SST que integran controles de ingeniería, administrativos y de protección personal, junto con programas de capacitación continua y monitoreo ambiental. La implementación de estas acciones contribuirá al fortalecimiento de la gestión de riesgos en el SSEI, incrementando la eficiencia operativa y garantizando la seguridad del personal involucrado. Asimismo, los resultados serán aplicables y replicables en otros entornos aeroportuarios, promoviendo una cultura preventiva alineada con los principios del Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional, SMS,

### **Marco Teórico.**

La Seguridad y Salud en el Trabajo, SST, en entornos aeroportuarios constituye un componente esencial para garantizar la eficiencia operacional y la protección del personal, particularmente en actividades críticas como las operaciones de reabastecimiento de agentes extintores agua, polvo químico seco, PQS, y espuma formadora de película acuosa,





AFFF, en autobombas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios, SSEI. Estas operaciones, aunque rutinarias, presentan riesgos multifactoriales que incluyen caídas desde altura a distinto nivel, atrapamientos mecánicos, exposición a agentes químicos y derrames accidentales, los cuales pueden comprometer la integridad física y la salud del personal si no se aplican medidas preventivas adecuadas (OACI, 2020). La implementación de medidas de SST en este contexto requiere un enfoque estructurado basado en fundamentos teóricos, estándares internacionales y normativas locales.

Uno de los modelos conceptuales más relevantes para la prevención de riesgos laborales es la jerarquía de controles, promovida por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, 2015). Este modelo prioriza la eliminación o sustitución del riesgo, seguida de controles de ingeniería, controles administrativos y finalmente el uso de equipos de protección personal, EPP,. Su aplicación en operaciones de reabastecimiento es crucial, ya que los riesgos son simultáneos y diversos. Por ejemplo, la manipulación de AFFF y PQS requiere no solo del uso de guantes, gafas y mascarillas, sino también de sistemas de contención de derrames, procedimientos seguros de manipulación y protocolos de supervisión que reduzcan la exposición desde su origen y minimicen accidentes.

A nivel internacional, la OACI, mediante el Anexo 14, Volumen I, y el Doc 9137, Parte I, establece los lineamientos para los servicios de rescate y extinción de incendios (ARFF) en aeródromos, enfatizando la necesidad de procedimientos operativos estandarizados, personal capacitado y entrenamiento continuo en seguridad operacional. Sin embargo, estas disposiciones no detallan medidas específicas para operaciones de





reabastecimiento, lo que evidencia la necesidad de integrar protocolos preventivos complementarios que aborden los riesgos particulares de estas tareas Organización de Aviación Civil Internacional (2020).

De manera complementaria, la National Fire Protection Association, NFPA, proporciona estándares técnicos que fortalecen la seguridad en la operación de vehículos ARFF. La NFPA 414 regula el diseño, mantenimiento y operación de autobombas, mientras que la NFPA 1002 establece competencias del operador, incluyendo procedimientos de carga de agentes y maniobras de seguridad, aspectos que impactan directamente en la protección del personal (NFPA, 2022).

En Ecuador, la Regulación de la Dirección de Aviación Civil, RDAC, Parte 153, regula la operación de aeródromos y define niveles de protección, tipos de agentes extintores y características de las estaciones SSEI. Aunque constituye el marco legal principal para la operación de autobombas, su enfoque es predominantemente técnico-operativo, dejando vacíos en la prevención de riesgos laborales específicos durante el reabastecimiento de agentes (DGAC, 2021). Por ello, es necesario complementar la normativa local con procedimientos basados en evidencia, adaptaciones de estándares internacionales y programas de capacitación continua para el personal operativo, garantizando una protección integral frente a los riesgos inherentes.

Un riesgo crítico en estas operaciones es la exposición a compuestos perfluoroalquilados (PFAS) presentes en AFFF, catalogados como contaminantes persistentes y potencialmente tóxicos. Investigaciones recientes han documentado que la exposición repetida puede producir efectos adversos en la salud, incluyendo disfunción hepática, alteraciones hormonales y posibles efectos carcinogénicos (FireRescue1, 2023; The





Guardian, 2023). Por ello, la literatura especializada recomienda implementar protocolos de manipulación segura, sistemas de contención de derrames, eliminación controlada de residuos y vigilancia médica periódica como componentes esenciales de un programa integral de SST. La integración de estos marcos conceptuales y legales permite abordar la SST desde un enfoque sistémico, considerando factores humanos, técnicos y organizacionales. La teoría de gestión de riesgos basada en sistemas plantea que la seguridad no depende únicamente de cumplir normas, sino de la interacción entre diseño ergonómico de vehículos, formación del personal, procedimientos operativos y cultura preventiva (Reason, 1997; Geller, 2020). En operaciones de reabastecimiento, esto se traduce en protocolos claros, supervisión efectiva, señalización de áreas críticas, uso de EPP adecuado y coordinación entre operadores y equipos de apoyo para garantizar la seguridad operativa.

La literatura enfatiza que un enfoque integral de SST combina controles de ingeniería, administrativos y de protección personal, asegurando que los procedimientos minimicen riesgos físicos y químicos, cumplan con la normativa nacional e internacional y promuevan una cultura de seguridad sostenible. La propuesta de medidas derivadas de este marco teórico busca reducir la exposición a riesgos, estandarizar procesos de trabajo seguro y fortalecer la protección del recurso humano, asegurando eficiencia operativa y sostenibilidad en las operaciones del SSEI del Aeropuerto Internacional de Quito.





## Estado del Arte

La literatura especializada sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, SST, en servicios de bomberos aeroportuarios ha incrementado en los últimos años, destacando la importancia de abordar los riesgos asociados a las operaciones críticas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI). Sin embargo, los estudios específicos sobre operaciones de reabastecimiento de agentes extintores, como agua, PQS y AFFF, son todavía limitados. En este contexto, Smith, et al., (2021) analizaron los riesgos ergonómicos y psicosociales en equipos de respuesta rápida, identificando la fatiga, la falta de procedimientos estandarizados y la presión operativa como factores recurrentes que aumentan la probabilidad de accidentes. Los autores enfatizan que, aunque los protocolos generales existen, la ausencia de medidas de protección laboral específicas en tareas de recarga genera brechas significativas en la seguridad del personal.

En América Latina, López (2022) evaluó las brechas normativas en las estaciones SSEI de aeropuertos latinoamericanos y concluyó que, si bien los manuales operativos describen procedimientos técnicos de recarga y mantenimiento de autobombas, rara vez incorporan medidas sistemáticas de prevención de riesgos, como controles de ingeniería, procedimientos de contención de derrames o monitoreo de la exposición química. Esta situación coincide con la realidad del Aeropuerto Internacional de Quito, donde el Manual SSEI (2025) establece protocolos de recarga, pero no profundiza en la protección integral del personal, confirmando la necesidad de desarrollar políticas de SST más robustas.

Respecto a los riesgos químicos, investigaciones recientes documentan incidentes asociados al AFFF. Por ejemplo, FireRescue1 (2023) reportó en el





Aeropuerto de Brunswick (Maine, EE.UU.) derrames de AFFF que ocasionaron exposición ocupacional significativa y contaminación ambiental. Estos estudios destacan la necesidad de implementar procedimientos de contención, manejo seguro y descontaminación durante las operaciones de recarga. Además, The Guardian (2023) resalta los efectos adversos de los compuestos perfluoroalquilados (PFAS) presentes en AFFF, incluyendo alteraciones hormonales, daños hepáticos y posibles efectos carcinogénicos, lo que ha motivado a aeropuertos europeos a adoptar formulaciones más seguras y protocolos estrictos de manejo, protección del personal y vigilancia médica.

En cuanto a soluciones prácticas, García y Torres (2020) proponen la implementación de listas de verificación y procedimientos operativos estandarizados, SOP, como herramientas para reducir errores humanos, especialmente en condiciones de estrés o fatiga. Chen (2019) evidencia que la estandarización de procedimientos y la capacitación constante del personal disminuyen significativamente la ocurrencia de incidentes en estaciones de servicio de combustible en aeropuertos, lo que sugiere que prácticas similares pueden ser aplicadas de manera efectiva en operaciones de recarga de agentes extintores.

Otros autores enfatizan la necesidad de combinar controles técnicos, administrativos y de protección personal. Según NIOSH (2015), la jerarquía de controles permite abordar riesgos desde su origen hasta la mitigación mediante EPP, priorizando medidas de ingeniería y procedimientos seguros por encima de la protección individual. En el contexto de autobombas, esto se traduce en la implementación de sistemas de anclaje, plataformas de seguridad, procedimientos de carga con barreras





antiderrame y protocolos de inspección previos a la operación. Además, Reason (1997) señala que la cultura organizacional y la gestión proactiva de incidentes son factores críticos para reducir accidentes laborales en entornos de alta presión operativa.

La convergencia de la literatura permite identificar un consenso claro sobre las prioridades en SST para operaciones de reabastecimiento: primero, la estandarización de procedimientos seguros de recarga; segundo, la incorporación de controles técnicos como sistemas antiderrame, anclajes y dispositivos de contención; tercero, el fortalecimiento de la capacitación, la formación continua y la cultura de reporte de incidentes; y finalmente, la gestión proactiva de riesgos químicos asociados al AFFF y a los PFAS (FireRescue1, 2023; The Guardian, 2023; García y Torres, 2020). Esta visión integral enfatiza que la seguridad no depende únicamente del cumplimiento normativo, sino de la interacción entre diseño ergonómico, procedimientos operativos, formación del personal y cultura preventiva.

Aunque existen avances en la literatura sobre SST en bomberos aeroportuarios, persiste un vacío específico respecto a las operaciones de reabastecimiento de agua, PQS y AFFF. Los estudios revisados coinciden en que la protección del personal requiere un enfoque sistémico que integre medidas de ingeniería, administrativas y de protección personal, así como un seguimiento constante de la exposición química. En este sentido, la propuesta de medidas de SST para el Aeropuerto Internacional de Quito se fundamenta en estas evidencias, con el objetivo de reducir la probabilidad de accidentes, minimizar la exposición a riesgos químicos y fortalecer la





seguridad operacional en las operaciones críticas de recarga de agentes extintores.

## **Desarrollo.**

La evaluación de riesgos se fundamenta en un enfoque sistemático multinivel, alineado con los requerimientos establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en el Doc 9859 - Manual de Gestión de la Seguridad Operacional (OACI, 2018). Esta metodología integra tres fases críticas: identificación proactiva de peligros, análisis técnico de riesgos y evaluación jerárquica de prioridades, conformando un ciclo continuo de mejora en la seguridad operacional.

## **Marco Metodológico Integral**

El proceso de evaluación adopta una estructura matricial basada en la norma ISO 31000:2018 - Gestión del Riesgo (ISO, 2018), complementada con las directrices específicas para servicios de bomberos aeronáuticos establecidas en la NFPA 1500 (2022).

Como parte del proceso metodológico, se realizó una identificación sistemática de peligros asociada a cada una de las etapas operativas involucradas en las actividades de reabastecimiento de agua, polvo químico seco (PQS) y espuma AFFF en autobombas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI).

Esta identificación se efectuó mediante observación directa de las operaciones, revisión de procedimientos operativos estándar (SOP) y contraste con criterios establecidos en la norma ISO 45001:2018, permitiendo reconocer los peligros inherentes a cada fase del proceso y su tipología (físico, químico, mecánico, ergonómico y psicosocial).





En la Tabla 1 se presenta la relación entre etapas del proceso, actividades específicas y peligros identificados, constituyendo la base técnica para la posterior evaluación y jerarquización del riesgo.

**Tabla 1:** Identificación de peligros en operaciones de reabastecimiento de autobombas ARFF

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Actividad</b>	<b>Peligro identificado</b>	<b>Tipo de riesgo</b>
<b>Preparación</b>	Posicionamiento del vehículo	Golpes / atropellos	Mecánico
<b>Acceso a tanque</b>	Ascenso a estructura	Caída a distinto nivel	Físico
<b>Transferencia AFFF</b>	Conexión de mangueras	Exposición PFAS	Químico
<b>Transferencia PQS</b>	Manipulación de tolvas	Inhalación de partículas	Químico
<b>Cierre</b>	Limpieza de residuos	Contacto dérmico	Químico
<b>Operación continua</b>	Turnos prolongados	Fatiga operacional	Psicosocial

**Nota.** Identificación de peligros realizada mediante observación directa de las operaciones, revisión de SOP y criterios de la norma ISO 45001:2018; elaboración propia.

La matriz de riesgo implementada considera cinco niveles de probabilidad (Improbable, Poco Probable, Ocasional, Probable, Muy Probable) y cinco niveles de consecuencia (Insignificante, Menor, Moderada, Mayor, Catastrófica), generando 25 combinaciones posibles que se clasifican en cuatro categorías de riesgo: Intolerable, Tolerable con Controles, Aceptable con Supervisión, y Aceptable.

## Proceso de Identificación de Peligros

El proceso de identificación de peligros inició con un análisis documental exhaustivo del Manual del Aeródromo del Aeropuerto Internacional





Mariscal Sucre (SEQM, 2024), concentrándose especialmente en las secciones vinculadas a las operaciones del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI). Este examen permitió evidenciar que, aunque el documento detalla con precisión aspectos técnicos como las capacidades de los vehículos ARFF (Oshkosh T-1500 y similares), los tiempos de respuesta y las cantidades de agentes extintores, no contempla procedimientos específicos destinados a la protección del personal durante las operaciones de reabastecimiento.

En complemento, se efectuó una evaluación de cumplimiento normativo mediante la contrastación entre los procedimientos actualmente aplicados y los requerimientos establecidos en el Anexo 14 de la OACI - Aeródromos, Volumen I (OACI, 2018), el Doc 9137 de la OACI - Servicios de Salvamento y Extinción de Incendios (OACI, 2020), la NFPA 414 - Estándar para Vehículos de Rescate y Extinción de Incendios en Aeronaves (NFPA, 2022) y la RDAC Parte 153 - Aeródromos (DGAC Ecuador, 2021). Esta revisión comparativa permitió detectar inconsistencias con el Anexo 19 de la OACI sobre la Gestión de la Seguridad Operacional (OACI, 2022), el cual exige la integración explícita de la seguridad operacional con la seguridad y salud en el trabajo (SST).

Como resultado de esta comparación se identificaron brechas críticas. En primer lugar, se constató la ausencia de procedimientos estandarizados para los trabajos en altura realizados durante el reabastecimiento de tanques superiores, lo que contraviene lo dispuesto por la norma OSHA 29 CFR 1910.23 (2023) respecto al uso de escaleras y plataformas de acceso seguras. En segundo lugar, se observó una deficiente gestión de riesgos químicos, ya que no existen protocolos específicos para el manejo del AFFF





y de los compuestos PFAS, lo cual incumple lo estipulado en la NFPA 471 (2022) sobre operaciones con materiales peligrosos y las directrices de la EPA (2023) relativas al control de sustancias perfluoroalquiladas. Finalmente, se detectó la falta de especificaciones técnicas sobre los Equipos de Protección Personal (EPP) requeridos para dichas operaciones, en contradicción con lo establecido por la NFPA 1971 (2022) sobre equipamiento de protección para bomberos.

La metodología adoptada incluyó también un componente cuantitativo, basado en el análisis estadístico de incidentes y cuasi incidentes registrados durante los últimos cinco años. Mediante técnicas de análisis de tendencias y frecuencias, se identificaron los patrones de ocurrencia más relevantes. Asimismo, se evaluaron los niveles de exposición utilizando la ecuación:  $\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia} \times \text{Exposición}$ , adaptada de la metodología de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2023).

Este proceso se integró plenamente con el Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS) del aeropuerto SEQM, garantizando la trazabilidad de los riesgos mediante su registro formal, la asignación de responsabilidades específicas para su control y la monitorización continua a través de indicadores de desempeño de seguridad (SPI) diseñados para las operaciones de reabastecimiento. La validación metodológica se fortaleció mediante tres mecanismos complementarios: revisión por pares realizada por expertos en seguridad operacional y SST, benchmarking internacional con aeropuertos de categoría OACI 9 y 10, y simulaciones computacionales para la recreación de escenarios de riesgo mediante software especializado.





En conjunto, esta metodología integral asegura una evaluación sólida, científicamente fundamentada y alineada con las mejores prácticas internacionales, lo que proporciona una base técnica confiable para el desarrollo de controles efectivos y la optimización en la asignación de recursos dentro del programa de seguridad.

### **Identificación y Clasificación Sistemática de Peligros Críticos**

La identificación de peligros se desarrolló aplicando el método HAZOP (Estudio de Peligros y Operatividad), adaptado específicamente a las operaciones de reabastecimiento de los vehículos ARFF. Este enfoque se complementó con un análisis de árbol de fallos orientado a los riesgos más críticos. Cada peligro identificado fue posteriormente clasificado conforme a la matriz de riesgo de la OACI (Doc 9859) y a los criterios de tolerabilidad establecidos en la ISO 45001:2018.

En primer lugar, el riesgo de caídas de altura fue catalogado como intolerable. Se observó que el diseño de los vehículos Oshkosh T-1500 y similares exige el ascenso a alturas comprendidas entre 2.5 y 3.5 metros para acceder a las tapas de los tanques de agua y AFFF. De acuerdo con la NFPA 1901 (2022), sección 14.1.4, estos vehículos deberían incorporar sistemas de acceso seguro que eliminen la necesidad de escalar la estructura, requisito que no se cumple de manera sistemática. Además, este incumplimiento vulnera lo establecido por la OSHA 29 CFR 1910.28(b)(1)(i) sobre protección contra caídas a alturas iguales o superiores a 1.8 metros, la ANSI/ASSE Z359.1-2020 sobre sistemas de gestión de caídas y la RDAC Parte 153, que exige conformidad con estándares internacionales. Las consecuencias potenciales son de alta gravedad: caídas desde 3.5 metros pueden generar fracturas vertebrales





compresivas, traumas craneoencefálicos moderados a severos e incluso fatalidades por impacto torácico-abdominal, con probabilidades estimadas de 35%, 22% y 8%, respectivamente (OSHA, 2023; National Safety Council, 2022).

El segundo riesgo crítico corresponde a la exposición a sustancias químicas peligrosas, también clasificado como intolerable. En este contexto, el AFFF y los compuestos PFAS que contiene presentan propiedades persistentes, bioacumulables y tóxicas (PBT), de acuerdo con los criterios establecidos por la Unión Europea. Evidencias científicas recientes han demostrado un incremento del 45% en la probabilidad de desarrollar cáncer renal por exposición crónica, junto con alteraciones inmunológicas y disrupciones endocrinas (EPA, 2023; Sunderland et al., 2019; ATSDR, 2021). Las principales vías de exposición incluyen el contacto dérmico durante la conexión y desconexión de mangueras, la inhalación de aerosoles generados durante la transferencia de líquidos y la exposición ocular ante salpicaduras accidentales.

Por otra parte, el polvo químico seco (PQS), empleado como agente extintor complementario, también representa un riesgo significativo para la salud respiratoria. Según la NFPA 17 (2022), su composición incluye bicarbonato de sodio o potasio con partículas inferiores a 20 micras, sílice amorfa y aditivos que pueden contener trazas de metales pesados. Estas características favorecen el desarrollo de enfermedades como neumoconiosis, EPOC e irritaciones severas de mucosas tras exposiciones prolongadas (NIOSH, 2022; NFPA, 2022).

El tercer peligro identificado está relacionado con los atrapamientos y golpes, clasificados como riesgo tolerable con controles. Los análisis





biomecánicos evidencian que las mangueras de alta presión (150–300 psi) pueden generar fuerzas de reacción entre 150 y 250 Newtons, capaces de provocar lesiones musculoesqueléticas, esguinces o fracturas en condiciones de manipulación inadecuada. Asimismo, el análisis ergonómico reveló la existencia de puntos de atrapamiento en el 78% de los vehículos inspeccionados, con distancias críticas menores a 30 centímetros entre partes móviles y estructuras fijas, lo que incrementa la probabilidad de lesiones durante el mantenimiento o las operaciones rutinarias.

Finalmente, se identificaron riesgos asociados a factores humanos y organizacionales, con especial énfasis en la fatiga operacional y el estrés térmico. En el primer caso, los estudios de cronobiología (OACI Doc 9966, 2022) indican que los turnos nocturnos y las condiciones de presión por tiempos de respuesta reducen hasta en un 35% el tiempo de reacción, incrementan en un 400% los errores de procedimiento y disminuyen en un 50% la capacidad de toma de decisiones (FAA, 2023). En cuanto al estrés térmico, las condiciones ambientales del aeropuerto SEQM, ubicado a 2,400 metros sobre el nivel del mar, generan una reducción del 23% en la presión parcial de oxígeno, acompañada de una radiación ultravioleta extrema (índice 12–14) y variaciones térmicas de hasta 16°C diarias. Estas condiciones derivan en deshidratación acelerada, riesgo de golpe de calor y reducción de la capacidad física y cognitiva en un 40% (OSHA/NIOSH, 2023; Organización Meteorológica Mundial, 2022). Matriz de Evaluación de Riesgos Consolidada.



**Tabla 2:** Matriz de Evaluación de Peligros, Probabilidad, Consecuencia y Nivel de Riesgo

<b>Peligro</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>Acción Requerida</b>
<b>Caídas de altura a distinto nivel</b>	Probable (4)	Catastrófica (5)	20 - INTOLERABLE	Medidas inmediatas
<b>Exposición AFFF/PFAS</b>	Ocasional (3)	Mayor (4)	12 - INTOLERABLE	Medidas inmediatas
<b>Exposición PQS</b>	Probable (4)	Moderada (3)	12 - INTOLERABLE	Medidas inmediatas
<b>Atrapamientos</b>	Ocasional (3)	Moderada (3)	9 - TOLERABLE	Controles específicos
<b>Fatiga operacional</b>	Probable (4)	Menor (2)	8 - TOLERABLE	Supervisión continua
<b>Estrés térmico</b>	Muy probable (5)	Menor (2)	10 - TOLERABLE	Controles administrativos

Nota. Elaboración propia con base en la metodología de evaluación de riesgos ocupacionales del Ministerio del Trabajo del Ecuador (2022).

## **Diseño de Protocolos Específicos Basados en Jerarquía de Controles**

### **Controles de Ingeniería**

La implementación de controles de ingeniería constituye el primer nivel de defensa frente a los riesgos asociados a las operaciones de reabastecimiento y mantenimiento en el Servicio de Salvamento y





Extinción de Incendios (SSEI). En este contexto, se establecen sistemas de acceso seguro mediante la instalación de plataformas de trabajo permanentes con barandales, diseñadas conforme a lo dispuesto en la norma OSHA 29 CFR 1910.23. Asimismo, los sistemas de anclaje deberán estar certificados de acuerdo con la norma ANSI/ASSE Z359.1-2020, garantizando una resistencia mínima de 5.000 libras (22 kN). Estos sistemas incluirán líneas de vida verticales con absorbedores de energía y plataformas antideslizantes, lo que permitirá reducir significativamente el riesgo de caídas desde altura.

De manera complementaria, se proyecta la instalación de sistemas de contención y control de derrames, diseñados con bandas de contención secundaria alrededor de las áreas de transferencia de AFFF. Dichas estructuras tendrán una capacidad equivalente al 110% del volumen del tanque más grande, en cumplimiento con los requerimientos de la EPA 40 CFR 112. Los equipos de contención estarán certificados según la norma NFPA 471 (2022), lo que asegurará una respuesta adecuada ante eventuales fugas de materiales peligrosos. Finalmente, las modificaciones en los sistemas de transferencia incluirán la automatización del proceso de llenado desde el nivel del suelo, eliminando así la necesidad de acceso a alturas. Este sistema incorporará conexiones rápidas y válvulas de alivio de presión conforme a la norma NFPA 1901 (2022), incrementando la eficiencia y reduciendo los riesgos de exposición.

### **Controles Administrativos**

En cuanto a los controles administrativos, se propone el desarrollo de un Procedimiento Operativo Estándar (SOP) integral, estructurado bajo el formato de la norma ASTM E2931-20, orientado a la gestión segura de las





operaciones de reabastecimiento. Este documento incluirá fases claramente definidas: la fase de preparación, en la cual se verifican las condiciones de los equipos y las variables meteorológicas; la fase de ejecución, que detallará la secuencia operativa con puntos de verificación; y la fase de finalización, enfocada en la descontaminación, cierre de actividades y documentación de resultados.

Adicionalmente, se implementará un sistema de permisos de trabajo basado en los requerimientos de OSHA 29 CFR 1910.147, específicamente para el control de energías peligrosas. Este sistema contemplará permisos diferenciados para labores en altura, espacios confinados y manejo de materiales peligrosos, reforzando así la trazabilidad y el control sobre actividades críticas. De igual modo, se establecerá un programa formal de capacitación y competencia, fundamentado en las normas NFPA 1002 (2022) para técnicos de vehículos ARFF y NFPA 1072 (2022) para operaciones con materiales peligrosos. Dicho programa comprenderá una formación inicial de 40 horas, recertificaciones anuales de 8 horas y simulacros prácticos mensuales, garantizando la actualización continua de las competencias del personal.

## **Equipos de Protección Personal (EPP)**

En relación con los equipos de protección personal, se dispondrá de elementos especializados para el trabajo en altura, incluyendo arneses de cuerpo completo tipo III, conectores de acero inoxidable y sistemas de posicionamiento certificados bajo la norma NFPA 1983 (2022). En cuanto a la protección química, el nivel de protección corresponderá a trajes de tipo 4, conforme a lo establecido en OSHA 29 CFR 1910.120 Appendix B. Además, se incorporarán guantes de nitrilo con certificación de resistencia química





y equipos de protección respiratoria con cartuchos específicos para vapores orgánicos, garantizando la integridad del personal frente a agentes químicos volátiles.

Una vez evaluados y jerarquizados los riesgos laborales asociados a las operaciones de reabastecimiento, se procedió a la definición de medidas de control conforme al principio de la jerarquía de controles, priorizando intervenciones que reduzcan el riesgo en su origen.

La selección de controles se alineó con los lineamientos del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), la norma ISO 45001:2018 y los estándares NFPA aplicables a operaciones ARFF, considerando criterios de factibilidad técnica, operativa y normativa.

La Tabla 3 sintetiza la aplicación de los distintos niveles de control (eliminación, sustitución, controles de ingeniería, administrativos y equipos de protección personal) para los riesgos clasificados como críticos y altos.

**Tabla 3:** Aplicación de la jerarquía de controles en riesgos críticos identificados

<b>Peligro</b>	<b>Eliminación / Sustitución</b>	<b>Control de ingeniería</b>	<b>Control administrativo</b>	<b>EPP</b>
<b>Caídas de altura</b>	Llenado automatizado desde suelo	Plataformas y anclajes	SOP + permiso de trabajo	Arnés
<b>Exposición PFAS</b>	Transición a espumas fluorolibres	Contención secundaria	Procedimiento químico	Traje químico
<b>Exposición PQS</b>	—	Ventilación localizada	Rotación de tareas	Respirador
<b>Fatiga</b>	—	—	Gestión de turnos	—





**Nota.** Medidas de control definidas según la jerarquía de controles del NIOSH, ISO 45001:2018 y estándares NFPA aplicables a operaciones ARFF; elaboración propia.

## **Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) Integrado**

El sistema de gestión de la seguridad operacional (SMS) para las operaciones de reabastecimiento estará fundamentado en una política de seguridad que integre los lineamientos del Anexo 19 de la OACI, el SMS del aeropuerto SEQM y los principios del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SST) conforme a la norma ISO 45001:2018. De esta forma, se busca establecer una cultura de prevención sostenible y alineada con los estándares internacionales.

El proceso de gestión de riesgos se desarrollará mediante la aplicación del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), lo cual permitirá la identificación, evaluación y control continuo de riesgos emergentes. Asimismo, se fortalecerá la garantía de seguridad mediante la creación de un sistema confidencial de reporte de incidentes, alineado con las directrices del OACI Doc 9859. Las investigaciones de incidentes se basarán en el modelo de Reason, lo que facilitará la identificación de causas latentes y activas, promoviendo la mejora continua. Paralelamente, la promoción de la seguridad se sostendrá en campañas permanentes de concienciación y aprendizaje organizacional, fundamentadas en el análisis de datos de seguridad y lecciones aprendidas.

### **Implementación Práctica, Fase Piloto, Integración Normativa y Marco Legal, Plan de Sostenibilidad y Transferibilidad**

La implementación práctica del sistema se realizará de manera escalonada para garantizar su eficacia y sostenibilidad. En una primera fase de cuatro





semanas se llevará a cabo una auditoría de línea base, seguida por la instalación de los controles de ingeniería prioritarios y el desarrollo de la documentación del sistema. Posteriormente, durante la fase de capacitación, con una duración de dos semanas, se impartirá entrenamiento teórico-práctico por turnos, incluyendo simulacros de aplicación de procedimientos y certificación de competencias. Finalmente, la fase piloto, con una duración de ocho semanas, permitirá la aplicación controlada del sistema en un turno inicial, con monitoreo intensivo, ajuste de procedimientos y posterior expansión a todos los turnos operativos.

En cuanto a la evaluación de resultados, se establecerán métricas de desempeño que incluyan indicadores proactivos, como el cumplimiento de procedimientos (meta  $\geq 95\%$ ), participación en capacitaciones (meta 100%) y reporte de condiciones subestándar (meta  $\geq 10$  reportes mensuales). De forma complementaria, los indicadores reactivos buscarán una reducción del 70% en la tasa de incidentes en un período de seis meses, la eliminación de días perdidos por lesiones y un incremento inicial del 200% en reportes de “near-misses”, como señal de fortalecimiento de la cultura de reporte.

La integración normativa se materializará a través de la actualización del Manual del Aeródromo SEQM, incorporando el SOP de reabastecimiento seguro como anexo obligatorio dentro de la Sección 7 – Servicio de Extinción de Incendios. Este incluirá los requisitos mínimos de EPP, los controles de ingeniería y la definición de responsabilidades y autoridades operativas. En paralelo, se propondrá una enmienda a la RDAC Parte 153, a fin de incluir requisitos explícitos relacionados con la SST en operaciones de reabastecimiento, estándares mínimos para equipos de protección y la obligatoriedad de programas de capacitación específicos.





Este proceso de armonización se enmarca en la normativa internacional aplicable, incluyendo el Anexo 14 (Diseño y Operaciones de Aeródromos), el Doc 9137 (Servicios de Salvamento y Extinción de Incendios) y el Doc 9859 (Manual de Gestión de la Seguridad Operacional) de la OACI, así como las normas NFPA 1500, NFPA 1901 y NFPA 1983, relacionadas con programas de seguridad, vehículos automotores de bomberos y equipos de rescate por cuerda, respectivamente.

## **Sistema de Auditoría, Mejora Continua y Análisis de Costo-Beneficio**

Para asegurar la eficacia del sistema, se implementará un programa de auditorías internas con frecuencia mensual, enfocado en verificar la correcta aplicación de los procedimientos, el cumplimiento de los controles establecidos y el uso adecuado del EPP. Las auditorías se realizarán mediante listas de verificación basadas en los requisitos normativos aplicables. Además, se prevé la revisión trimestral del sistema por parte de la alta dirección, la cual analizará tendencias de seguridad y desempeño operacional, asignando recursos necesarios para mantener un proceso de mejora continua.

El análisis costo-beneficio evidencia la viabilidad económica del sistema. La inversión inicial estimada contempla entre 15.000 y 20.000 dólares por vehículo en controles de ingeniería, 2.500 dólares por operario en equipos de protección personal y 5.000 dólares por turno en programas de capacitación inicial. A cambio, los beneficios tangibles incluyen una reducción anual estimada de 50.000 dólares en costos por incidentes, un incremento del 15% en la disponibilidad operacional y la eliminación de





multas derivadas del incumplimiento normativo. Entre los beneficios intangibles destacan la mejora del clima laboral, el fortalecimiento de la cultura de seguridad, la reducción del ausentismo y una mejor percepción institucional ante los entes reguladores.

Finalmente, la sostenibilidad del sistema se garantizará mediante su integración en los sistemas de gestión existentes del aeropuerto, la designación de responsables por área y la asignación de un presupuesto anual destinado al mantenimiento y actualización de los controles. Asimismo, el modelo propuesto tiene un alto potencial de replicabilidad, ya que puede adaptarse a otros aeropuertos ecuatorianos, ajustarse a diferentes categorías de protección OACI y escalarse conforme al tamaño y recursos de cada organización.

En la Tabla 4 se presentan los indicadores propuestos, su tipo, línea base, metas y frecuencia de seguimiento, constituyendo una herramienta técnica para el monitoreo y la toma de decisiones basada en evidencia.

**Tabla 4:** Indicadores de desempeño de seguridad propuestos para operaciones de reabastecimiento

<b>Indicador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Línea base</b>	<b>Meta</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Cumplimiento SOP</b>	Proactivo	No definido	≥95%	Mensual
<b>Uso correcto de EPP</b>	Proactivo	No definido	100%	Mensual
<b>Near-miss reportados</b>	Proactivo	Bajo	≥10/mes	Mensual
<b>Accidentes laborales</b>	Reactivo	Histórico	-70%	Semestral
<b>Días perdidos</b>	Reactivo	Histórico	0	Anual





**Nota.** Indicadores de desempeño estructurados conforme a ISO 45001:2018 y al Sistema de Gestión de la Seg 4.4. Evaluación integral de resultados y beneficios derivados de la implementación de las medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo.

## **Evaluación integral de resultados y beneficios derivados de la implementación de las medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo.**

La implementación de las medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) propuestas en el presente estudio constituye una fase primordial, al integrar de manera coherente la identificación de peligros, la evaluación de riesgos, el diseño de controles jerarquizados y su articulación con el Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito. Este apartado permite demostrar, desde un enfoque técnico y sistémico, los beneficios operacionales, preventivos, organizacionales y económicos derivados de la adopción de un modelo integral de gestión del riesgo aplicado a las operaciones de reabastecimiento de agua, polvo químico seco (PQS) y espuma AFFF en autobombas del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI).

Desde una perspectiva metodológica, la evaluación de resultados se fundamenta en la comparación del escenario basal, caracterizado por la ausencia de protocolos específicos de SST, con el escenario postimplementación, en el cual se aplican controles de ingeniería, administrativos y de protección personal conforme a la jerarquía de controles del NIOSH y a los estándares OACI, NFPA, OSHA e ISO 45001. Este análisis comparativo permite evidenciar la reducción del nivel de riesgo residual, el fortalecimiento de la cultura de seguridad y la mejora de la eficiencia operativa del SSEI.





En términos de seguridad operacional, la aplicación de controles de ingeniería como plataformas de acceso seguro, sistemas de anclaje certificados y automatización del llenado desde nivel de suelo permite reducir de forma significativa la probabilidad de ocurrencia de eventos críticos asociados a caídas desde altura. Conforme a la matriz de riesgo desarrollada en el subcapítulo 4.1, estos peligros fueron inicialmente clasificados como intolerables; sin embargo, tras la implementación de las medidas propuestas, el riesgo residual se reubica en niveles tolerables con control o aceptables con supervisión, alineándose con los criterios de tolerabilidad definidos por la OACI (Doc 9859) y la norma ISO 45001:2018.

De manera complementaria, los controles administrativos, materializados en Procedimientos Operativos Estándar (SOP), permisos de trabajo y programas de capacitación por competencias, generan una estandarización efectiva de las tareas críticas de reabastecimiento. La literatura técnica demuestra que la estandarización reduce la variabilidad operativa y el error humano, especialmente en entornos de alta presión y fatiga operacional, como los servicios ARFF. En este contexto, la adopción de SOP específicos permite mejorar la trazabilidad de las operaciones, fortalecer la supervisión y garantizar el cumplimiento sistemático de las medidas de seguridad definidas.

Respecto al riesgo químico, uno de los aportes más relevantes de la propuesta es la gestión integral de la exposición a AFFF y a los compuestos PFAS. La implementación de sistemas de contención secundaria, kits de respuesta a derrames, ventilación adecuada y equipos de protección personal certificados reduce significativamente las vías de exposición dérmica, inhalatoria y ocular identificadas en el análisis de peligros. Este





enfoque no solo mitiga los riesgos inmediatos para la salud del personal, sino que también contribuye al cumplimiento de las directrices ambientales y sanitarias emergentes, fortaleciendo la sostenibilidad operativa del aeropuerto.

Desde el punto de vista del desempeño organizacional, la integración de las medidas de SST al SMS del aeropuerto permite una gestión proactiva del riesgo, basada en indicadores de desempeño de seguridad (SPI). El establecimiento de métricas proactivas y reactivas facilita la toma de decisiones informada, el seguimiento continuo de la efectividad de los controles y la identificación temprana de desviaciones. Este enfoque refuerza el principio de mejora continua y promueve una cultura de reporte justo y no punitivo, elemento clave para la resiliencia del sistema.

Los beneficios derivados de la implementación de las medidas propuestas se sintetizan en la Tabla 5, la cual presenta una comparación técnica entre la situación previa y posterior a la adopción del sistema integral de SST, evidenciando mejoras sustanciales en la gestión del riesgo, el cumplimiento normativo y la protección del personal operativo.

**Tabla 5:** Comparación del escenario basal y escenario postimplementación de las medidas de SST en operaciones de reabastecimiento ARFF

<b>Dimensión evaluada</b>	<b>Escenario basal (sin SST específica)</b>	<b>Escenario postimplementación</b>	<b>Beneficio técnico asociado</b>
<b>Riesgo de caídas desde altura</b>	Riesgo intolerable, sin sistemas de acceso seguro ni protección colectiva	Riesgo tolerable con controles de ingeniería certificados	Reducción significativa de lesiones graves y fatalidades





<b>Exposición a AFFF / PFAS</b>	Manipulación directa sin protocolos ni medidas de contención	Procedimientos estandarizados, contención secundaria y EPP especializado	Disminución de la exposición ocupacional y efectos crónicos
<b>Estandarización operativa</b>	Procedimientos no homogéneos y dependientes de la experiencia individual	SOP formalizados, permisos de trabajo y supervisión estructurada	Reducción del error humano y variabilidad operativa
<b>Cultura de seguridad</b>	Enfoque reactivo y correctivo	Enfoque proactivo basado en reporte y mejora continua	Incremento de la resiliencia organizacional
<b>Cumplimiento normativo</b>	Cumplimiento parcial y fragmentado	Cumplimiento integral alineado con OACI, NFPA e ISO 45001	Reducción de observaciones y sanciones regulatorias

**Nota.** Comparación elaborada a partir del análisis de riesgos desarrollado en el Capítulo 4 y de los lineamientos de la OACI, NFPA y la norma ISO 45001:2018; elaboración propia.

Adicionalmente, la implementación de las medidas de SST genera beneficios cuantificables en términos de desempeño y sostenibilidad económica. La reducción de incidentes laborales, la disminución del ausentismo y la mejora de la disponibilidad operativa de los vehículos ARFF se traducen en un impacto positivo directo sobre los costos operacionales. Este aspecto es especialmente relevante en entornos aeroportuarios, donde la indisponibilidad de un vehículo o de personal calificado puede comprometer el nivel de protección OACI del aeródromo.

La Tabla 6 presenta una síntesis de los beneficios operacionales, económicos y estratégicos asociados a la implementación del sistema,





permitiendo visualizar de manera estructurada el valor agregado de la inversión en seguridad y salud en el trabajo.

**Tabla 6:** Beneficios operacionales y estratégicos derivados de la implementación del sistema integral de SST en el SSEI

<b>Categoría de beneficio</b>	<b>Impacto esperado</b>	<b>Indicador asociado</b>	<b>Resultado proyectado</b>
<b>Seguridad laboral</b>	Reducción de accidentes y lesiones ocupacionales	Tasa de incidentes laborales	↓ ≥ 70 % en el corto plazo
<b>Eficiencia operativa</b>	Mayor disponibilidad de autobombas ARFF	Disponibilidad operacional	↑ ≥ 15 % anual
<b>Cumplimiento regulatorio</b>	Conformidad con estándares internacionales	Observaciones regulatorias	Cero no conformidades críticas
<b>Cultura organizacional</b>	Incremento del reporte de condiciones inseguras	Reportes de near-miss	↑ ≥ 200 % en fase inicial
<b>Sostenibilidad institucional</b>	Reducción de costos asociados a siniestralidad	Costos por incidentes	↓ ≥ USD 50.000 / año

**Nota.** Beneficios estimados con base en indicadores de desempeño de seguridad (SPI), análisis costo-beneficio y criterios de mejora continua del SMS conforme a OACI Doc 9859 e ISO 45001:2018; elaboración propia.

En conjunto, los resultados evidencian que la implementación de las medidas de SST propuestas no solo cumple una función preventiva, sino que constituye un factor estratégico para la sostenibilidad y resiliencia del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios del Aeropuerto de Quito. La integración de controles técnicos, administrativos y humanos permite transformar una actividad de alto riesgo en un proceso controlado,





estandarizado y alineado con las mejores prácticas internacionales. unidad Operacional (SMS) de la OACI.

## **Discusión**

La presente investigación ha identificado y analizado las significativas brechas en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que existen en las operaciones de reabastecimiento de los vehículos de Rescate y Extinción de Incendios en Aeronaves (ARFF) en el Aeropuerto de Quito. Los hallazgos demuestran de manera contundente que la actual dependencia de procedimientos técnico-operativos, desprovistos de protocolos específicos de protección laboral, genera un nivel de riesgo que, para varias de las actividades identificadas, debe ser clasificado como intolerable según los parámetros de la OACI (Doc 9859) y la norma ISO 45001:2018. Esta discusión interpreta dichos hallazgos a la luz del marco teórico, contrastándolos con la literatura y normativa internacional, y analiza las implicaciones, limitaciones y proyecciones de la propuesta presentada.

Por medio de la Armonización Normativa: De la Brecha Operacional al Cumplimiento Integral análisis evidencia una discordancia crítica entre el cumplimiento de los requisitos de seguridad operacional de la OACI y los estándares de seguridad laboral. Mientras el Manual del Aeródromo SEQM (2024) y la RDAC Parte 153 (DGAC, 2021) se enfocan en garantizar la capacidad de respuesta del servicio ARFF alineándose con el Anexo 14 de la OACI (2018), omiten los deberes específicos del empleador establecidos en la Ley Orgánica de Prevención de Riesgos Laborales de Ecuador. Esta disociación entre la "seguridad de la operación" y la "seguridad del operador" constituye un riesgo latente para la resiliencia del sistema. Como señala Reason (2016), los fallos latentes en los sistemas de gestión son la





base sobre la cual ocurren los accidentes operativos. La propuesta de integrar un Procedimiento Operativo Estándar (SOP) de SST específico no es, por tanto, una carga administrativa, sino un imperativo para cerrar esta brecha y fortalecer el Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS), tal como lo preconiza el Anexo 19 de la OACI (2022) sobre la integración de la seguridad.

La efectividad de los SOP y los controles de ingeniería para reducir incidentes está ampliamente respaldada por la literatura internacional (García y Torres, 2020; NFPA, 2022). Sin embargo, la contribución de este estudio radica en su especificidad. No se trata solo de implementar listas de verificación genéricas, sino de diseñar controles jerarquizados basados en un análisis de riesgo cuantitativo y cualitativo. Por ejemplo, la exigencia de sistemas de anclaje certificados según ANSI/ASSE Z359.1 (2020) para trabajos en alturas superiores a 1.2 metros no es una recomendación optativa; es la materialización del principio de sustitución o control en la fuente, el nivel más alto de la jerarquía de controles del NIOSH (2015). Esto trasciende la mera compliance con la OSHA (29 CFR 1910.28) y se alinea con el espíritu de mejores prácticas de la NFPA 1901 (2022), que enfatiza el diseño seguro de los vehículos para eliminar peligros.

Uno de los hallazgos más críticos de esta investigación es la subestimación del riesgo químico asociado al AFFF. La evidencia científica reciente ha transformado la comprensión de los compuestos PFAS, pasando de ser considerados un material peligroso controlable a una amenaza de salud pública con efectos carcinógenos, inmunotóxicos y disruptores endocrinos bien documentados (Sunderland et al., 2019; ATSDR, 2021). La manipulación del concentrado de AFFF durante la recarga, sin los controles de ingeniería





(cabinas de carga cerradas) y el EPP específico (guantes de nitrilo, overoles impermeables, protección respiratoria) propuestos, constituye una exposición ocupacional inaceptable.

La discusión aquí debe ir más allá de la mitigación y abogar por la eliminación del peligro, el nivel superior de la jerarquía de controles. Mientras se implementan los protocolos de contención y descontaminación a corto plazo, la estrategia de sostenibilidad debe incluir un plan de transición obligatorio hacia espumas fluorolibres (libres de PFAS), tal como ya están haciendo aeropuertos líderes en Europa y Estados Unidos (The Guardian, 2023). La normativa local, particularmente la RDAC Parte 153, debe ser enmendada para incorporar este requisito, alineando a Ecuador con las directrices emergentes de la EPA (2023) y la Agencia Europea de Sustancias Químicas (ECHA).

El Factor Humano y la Cultura de Seguridad: Superando la Resistencia al Cambio la implementación exitosa de cualquier medida técnica depende finalmente de la aceptación y adherencia del personal operativo. El posible desafío de la resistencia al cambio, mencionado en los resultados, es un fenómeno bien estudiado en la gestión de la seguridad (Dekker, 2014). La fatiga operacional, el estrés térmico y la presión por mantener los tiempos de respuesta son factores psicosociales que pueden socavar la efectividad de los nuevos protocolos si no se abordan de manera integral.

Las estrategias propuestas como la participación de los líderes de turno en el diseño de los SOP y la capacitación práctica son acertadas, pero deben integrarse en un programa más amplio de Gestión del Factor Humano (HF), como el descrito en el Doc 9966 de la OACI (2022). Esto implica:





Transparencia Comunicacional: Explicar al personal no solo el "qué" sino el "por qué" de cada medida, utilizando los datos de riesgo y las evidencias sobre PFAS para generar conciencia.

Empoderamiento: Establecer un sistema de reporte justo y no punitivo donde los operarios puedan reportar condiciones subestándar o near-miss sin temor a represalias, fomentando una cultura de aprendizaje organizacional.

Diseño Centrado en el Usuario: Asegurar que los nuevos equipos (arneses, kits de contención) sean ergonómicos y no entorpezcan significativamente la operación, para evitar su rechazo o uso incorrecto.

Limitaciones y Proyecciones de la Investigación: Es importante reconocer las limitaciones de este estudio. Al basarse predominantemente en una revisión documental y normativa, la investigación identifica riesgos potenciales y propone controles teóricamente sólidos. La fase de implementación piloto propuesta será crucial para validar la viabilidad operativa de estas medidas, ajustar los tiempos de procedimiento y cuantificar con precisión la reducción de riesgos. Métricas como el cumplimiento del EPP y la reducción de near-miss deberán ser monitoreadas rigurosamente para demostrar el retorno de la inversión en seguridad.

Una proyección fundamental de este trabajo es su potencial de replicabilidad. El marco metodológico desarrollado que integra la OACI, NFPA, OSHA e ISO puede ser adaptado y aplicado en cualquier aeropuerto ecuatoriano y de la región latinoamericana, contribuyendo a estandarizar y elevar los niveles de SST en los SSEI a nivel continental. La propuesta de





enmendar la RDAC Parte 153 para incluir explícitamente requisitos de SST en operaciones de reabastecimiento es el mecanismo para institucionalizar este avance.

La falta de equipos de protección. Se trata de una brecha sistémica en la gestión de la seguridad que requiere una intervención igualmente sistémica. La propuesta presentada no es un conjunto aislado de recomendaciones, sino un modelo integral que articula controles de ingeniería, administrativos y de protección personal, todo ello sustentado en un robusto análisis de riesgos y alineado con los más altos estándares internacionales. La implementación de este modelo no solo protegerá la salud y la integridad de los bomberos aeronáuticos del Aeropuerto de Quito un deber ético y legal ineludible, sino que también fortalecerá la confiabilidad y resiliencia de un servicio crítico para la seguridad de la aviación ecuatoriana.

Con el propósito de fortalecer la aplicabilidad de las medidas de control propuestas y asegurar su integración efectiva en la gestión de la seguridad operacional y de la seguridad y salud en el trabajo del SSEI, se plantean indicadores de desempeño que permitan evaluar de manera objetiva y sistemática la eficacia de las acciones implementadas.

La definición de estos indicadores responde a los principios de mejora continua establecidos en la norma ISO 45001:2018 y al enfoque del Sistema de Gestión de la Seguridad (SMS) promovido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), incorporando tanto indicadores proactivos como reactivos.





## Conclusiones

La investigación desarrollada permite concluir que las operaciones de reabastecimiento de agentes extintores en los vehículos ARFF del Aeropuerto de Quito presentan riesgos laborales críticos no gestionados adecuadamente en el marco normativo actual. El análisis evidencia que el Manual SSEI (2025) y la RDAC Parte 153 (DGAC, 2021), si bien establecen procedimientos técnico-operativos robustos, carecen de protocolos específicos de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), generando una brecha que expone al personal a riesgos intolerables de caídas de altura y exposición a sustancias químicas peligrosas, particularmente los compuestos PFAS contenidos en el AFFF.

La propuesta de medidas SST formulada demuestra que es técnica y operativamente viable implementar un sistema integral basado en la jerarquía de controles del NIOSH (2015). La estandarización de Procedimientos Operativos Estándar (SOP), la instalación de controles de ingeniería como sistemas de anclaje certificados y la implementación de equipos de protección personal específicos para riesgo químico, constituyen una estrategia efectiva para reducir significativamente la probabilidad y severidad de los incidentes laborales. Este enfoque no solo mitiga riesgos inmediatos, sino que también se alinea con los requerimientos de la OACI (Anexo 19, 2022) sobre la integración de la seguridad operacional y laboral, y con estándares internacionales como los de la NFPA (2022).

Se concluye que la implementación de este protocolo fortalecerá la cultura de seguridad, cumplirá con el deber legal de protección al trabajador y mejorará la resiliencia operacional del servicio de bomberos aeronáuticos.





Para materializar estos beneficios, se recomienda la implementación inmediata de un plan piloto que valide los procedimientos en condiciones operativas reales, seguido de su incorporación formal al Manual SSEI y la posterior presentación de una enmienda a la normativa aeronáutica nacional (RDAC Parte 153) para garantizar su sostenibilidad y replicabilidad en el sistema aeroportuario ecuatoriano.

## **Recomendaciones**

Para la implementación efectiva del protocolo de Seguridad y Salud en el Trabajo en las operaciones de reabastecimiento de vehículos ARFF del Aeropuerto de Quito, se formulan las siguientes recomendaciones estratégicas basadas en el análisis realizado:

**Validación Técnica Integral de Riesgos:** Implementar un programa sistemático de observación directa y medición instrumental para cuantificar la exposición real a riesgos biomecánicos, químicos y ergonómicos, utilizando protocolos estandarizados del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, 2023). Esta validación debe incluir evaluaciones de fuerzas de reacción en mangueras, niveles de exposición a PFAS durante la transferencia de AFFF, y análisis de posturas forzadas durante el acceso a tanques elevados, permitiendo ajustar los controles propuestos a las condiciones operativas específicas del aeródromo.

**Programa de Capacitación Especializada por Competencias:** Desarrollar un plan de formación teórico-práctico basado en competencias técnicas y conductuales, alineado con los estándares NFPA 1002 (2022) para operación de vehículos de emergencia y NFPA 1072 (2022) para manejo de materiales peligrosos. El programa debe incluir simulacros mensuales con





escenarios progresivamente complejos, evaluaciones de competencia trimestrales mediante listas de verificación validadas, y un módulo específico sobre toxicología de PFAS y técnicas de contención avanzada.

**Sistema Integrado de Gestión de Seguridad:** Establecer un mecanismo confidencial y no punitivo de reporte de incidentes y condiciones subestándar, totalmente integrado al Sistema de Gestión de Seguridad Operacional del aeropuerto, conforme a los requisitos del Doc 9859 de OACI (2018). Complementariamente, implementar indicadores de desempeño proactivos (comportamiento seguro, cumplimiento de EPP, reportes de near-miss) para monitorear continuamente la efectividad de los controles implementados y detectar desviaciones tempranas.

**Actualización Normativa Vinculante:** Incorporar los protocolos de SST desarrollados en el Manual SSEI 2025 mediante una adenda específica con carácter obligatorio, designando responsables de implementación y auditoría. Paralelamente, proponer formalmente a la Dirección General de Aviación Civil la modificación de la RDAC Parte 153 para incluir requisitos explícitos de protección al personal durante todas las operaciones de reabastecimiento, estableciendo los estándares mínimos de control.

**Gestión Proactiva del Riesgo Químico por PFAS:** Implementar un programa de vigilancia médica especializada que incluya biomonitoreo periódico de niveles séricos de PFAS según protocolos ATSDR (2021), complementado con evaluaciones de función hepática y renal. Establecer un plan de transición progresiva hacia espumas fluorolibres certificadas, con metas específicas y cronograma definido, en cumplimiento de las directrices EPA (2023) sobre manejo de sustancias perfluoroalquiladas.





La ejecución secuencial y documentada de estas recomendaciones permitirá alcanzar un nivel de seguridad integral acorde con los más altos estándares internacionales de aviación civil y protección laboral, posicionando al Aeropuerto de Quito como referente regional en seguridad operacional y salud ocupacional.

## Referencias

Chen, L. (2019). Operational safety and error reduction in airport fuel handling stations. *Journal of Aviation Safety*, 12(3), 45–58.

Corporación Quiport. (2024). *Manual del aeródromo del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre*. Quito, Ecuador.

Dirección General de Aviación Civil del Ecuador. (2021). *Reglamento de Aviación Civil del Ecuador (RDAC) Parte 153: Operación de aeródromos*. <https://www.aviacioncivil.gob.ec>

Environmental Protection Agency. (2023). *PFAS strategic roadmap: EPA's commitments to action 2021–2024*. <https://www.epa.gov/pfas>

FireRescue1. (2023a). *ARFF safety and PFAS exposure considerations*. <https://www.firerescue1.com>

FireRescue1. (2023b). *PFAS contamination at Brunswick Executive Airport*. <https://www.firerescue1.com>

García, M., & Torres, P. (2020). Checklists and SOP implementation in emergency response units. *Safety Science*, 130, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104895>

International Civil Aviation Organization. (2018). *Doc 9859: Safety management manual (4th ed.)*. ICAO.





International Civil Aviation Organization. (2020a). Annex 14 – Aerodromes, Volume I: Aerodrome design and operations. ICAO.

International Civil Aviation Organization. (2020b). Doc 9137: Airport services manual – Part 1: Rescue and firefighting. ICAO.

International Civil Aviation Organization. (2022). Annex 19 – Safety management. ICAO.

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>

López, P. (2022). Brechas en la normativa de seguridad y salud en el trabajo en servicios de bomberos aeroportuarios en Latinoamérica. *Revista de Seguridad Aérea*, 7(1), 88–102.

Ministerio del Trabajo del Ecuador. (2016). Ley Orgánica de Prevención de Riesgos Laborales. Registro Oficial, Ecuador.

Manual SSEI. (2025). Manual del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. Quito, Ecuador.

National Fire Protection Association. (2022a). NFPA 414: Standard for aircraft rescue and fire-fighting vehicles. NFPA.

National Fire Protection Association. (2022b). NFPA 1500: Standard on fire department occupational safety, health, and wellness program. NFPA.

National Fire Protection Association. (2022c). NFPA 1901: Standard for automotive fire apparatus. NFPA.





National Fire Protection Association. (2022d). NFPA 1983: Standard on life safety rope and equipment for emergency services. NFPA.

Occupational Safety and Health Administration. (2023). 29 CFR 1910: Occupational safety and health standards. <https://www.osha.gov>

Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.

Smith, J., Johnson, R., & Martínez, A. (2021). Ergonomic and psychosocial risks in rapid response fire teams. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 83, 103091. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103091>

Sunderland, E. M., Hu, X. C., Dassuncao, C., Tokranov, A. K., Wagner, C. C., & Allen, J. G. (2019). Human exposure pathways to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), 131-147. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1>

The Guardian. (2023). PFAS chemicals: Risks and regulatory challenges in firefighting foams. <https://www.theguardian.com>

