



## Gestión de riesgos de seguridad operacional aplicada al mantenimiento Operational safety risk management applied to maintenance

Javier Iván Sandoval-Álvarez  
javier.sandoval2214@utc.edu.ec

**Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador**  
<https://orcid.org/0009-0008-0166-8690>

Edison Patricio Salazar-Cueva  
edison.salazar@utc.edu.ec

**Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador**  
<https://orcid.org/0000-0003-4395-0164>

### RESUMEN

El estudio aborda la necesidad de fortalecer la seguridad operacional en el mantenimiento de maquinaria pesada en el sector de la construcción, proponiendo la adaptación del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS) de la aviación. El objetivo fue estructurar un modelo que permita identificar, evaluar y mitigar riesgos, integrando tecnologías 4.0 como aplicaciones móviles, análisis en Power BI e indicadores clave de desempeño (SPI). Metodológicamente, se empleó un enfoque mixto con fases secuenciales de identificación, evaluación, mitigación y monitoreo continuo. Los principales resultados evidenciaron mejoras significativas en la trazabilidad, una reducción progresiva de incidentes y mayor alineación con las metas de seguridad tras implementar una app para el reporte de eventos y el uso de SPIs. La digitalización y estructuración de procesos eleva la cultura preventiva y permite una gestión más eficiente y proactiva del mantenimiento. Esta propuesta demuestra ser replicable en contextos industriales similares con alta exigencia operativa.

**Descriptores:** reducción del riesgo de desastres; gestión de riesgos; dirección de proyecto. (Fuente: Tesaurus UNESCO).

### ABSTRACT

The study addresses the need to strengthen operational safety in the maintenance of heavy machinery in the construction sector, proposing the adaptation of the Operational Safety Management System (SMS) used in aviation. The objective was to structure a model that allows for the identification, assessment and mitigation of risks, integrating 4.0 technologies such as mobile applications, Power BI analysis and key performance indicators (KPIs). Methodologically, a mixed approach was used with sequential phases of identification, assessment, mitigation and continuous monitoring. The main results showed significant improvements in traceability, a progressive reduction in incidents and greater alignment with safety goals after implementing an app for reporting events and using KPIs. The digitisation and structuring of processes enhances the preventive culture and enables more efficient and proactive maintenance management. This proposal has proven to be replicable in similar industrial contexts with high operational demands.

**Descriptors:** disaster risk reduction; risk management; project management. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 23/03/2025. Revisado: 03/04/2025. Aprobado: 19/04/2025. Publicado: 06/05/2025.

**Sección artículos de Tecnología**



## INTRODUCCIÓN

En el sector de la construcción, la maquinaria pesada (como excavadoras, grúas y cargadoras) es esencial para garantizar la eficiencia, continuidad y seguridad de los proyectos. No obstante, el mantenimiento deficiente de estos equipos puede derivar en fallas operativas, tiempos de inactividad no planificados y, sobre todo, en accidentes graves. Según el informe del U.S. Bureau of Labor Statistics (2023), 738 trabajadores murieron por contacto con objetos o equipos, de los cuales 199 fueron directamente atribuidos a maquinaria.

A pesar del papel crítico que desempeña la maquinaria pesada, muchas organizaciones del sector de la construcción carecen de sistemas estructurados para la gestión de riesgos de seguridad operacional en sus procesos de mantenimiento. Esto genera una brecha importante si se compara con industrias como la aeronáutica, donde el uso de sistemas de gestión de seguridad operacional (SMS) es un estándar consolidado que permite identificar, evaluar y mitigar riesgos de forma proactiva.

Este estudio plantea como hipótesis que es posible adaptar el enfoque del SMS aeronáutico propuesto por la International Civil Aviation Organization (2018) al mantenimiento de maquinaria pesada, utilizando herramientas como indicadores clave de seguridad (SPIs) (Hinze et al., 2013), reportes digitales y técnicas de análisis para la toma de decisiones mostradas en Power BI (Dapan et al., 2019) para fortalecer la gestión de riesgos. Los objetivos se centran en adaptar los SPIs a contextos de equipos pesados y en proponer un flujo estructurado de reporte y mitigación de riesgos operacionales que permita disminuir los incidentes, mejorar la trazabilidad y elevar la cultura de seguridad.

De esta forma, se busca proporcionar una solución innovadora y práctica que contribuya a cerrar la brecha existente en la gestión de riesgos en mantenimiento, potenciando el uso de tecnologías 4.0 (Dapan et al., 2019) para transformar los procesos en entornos de alta exigencia como es el caso de la construcción. Actualmente, la empresa constructora presenta una gestión de mantenimiento correctivo sin una estructura formal para identificar o mitigar riesgos operacionales. Esta situación es similar a la reportada por otras industrias, donde la falta de integración entre la planificación del mantenimiento y la gestión de riesgos genera ineficiencias operativas y mayores tasas de fallos (Cevallos-Betún et al., 2024). No existen reportes digitalizados ni indicadores que permitan evaluar el desempeño de seguridad. Esta falta de estandarización ha derivado en incidentes recurrentes y pérdida de tiempo operativo.

## MÉTODO

Este estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto, combinando métodos inductivo y deductivo, con el objetivo de identificar, analizar y mitigar los riesgos asociados al mantenimiento de maquinaria pesada en el sector de la construcción, integrando herramientas tecnológicas y procedimientos estructurados inspirados en el enfoque del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS) utilizado en aviación (International Civil Aviation Organization, 2018).

**Situación inicial.** – Como parte del diagnóstico preliminar, se identificó que la empresa constructora objeto de estudio presenta una gestión de mantenimiento centrada principalmente en la respuesta correctiva, sin procesos estructurados para la identificación o mitigación de riesgos operacionales. Las actividades de mantenimiento carecen de una plataforma digital para el registro de eventos, lo que dificulta la trazabilidad, el análisis de tendencias y la toma de decisiones basada en datos. Tampoco se emplean indicadores clave de desempeño (SPIs) ni herramientas de visualización que permitan el monitoreo proactivo de los riesgos. Esta situación representa la línea base sobre la cual se plantea la propuesta de mejora.

**Infraestructura operativa y condiciones del mantenimiento.** La constructora cuenta con una flota diversa de maquinaria pesada, categorizada por función, que permite cubrir diferentes frentes de trabajo en movimientos de tierra, obras civiles, asfaltado y apoyo logístico. Esta variedad de equipos exige una gestión eficiente del mantenimiento y de los riesgos asociados a su operación.

El mantenimiento preventivo se ejecuta cada 250 horas de uso, lo que representa un ciclo promedio de intervención de aproximadamente cada mes y medio, dependiendo de la



intensidad de trabajo. La empresa dispone de registros históricos desde 2017, lo cual permite contar con una base sólida de datos para el desarrollo de indicadores clave de seguridad (SPIs) y análisis de tendencias de fallas.

**Tabla 1.** Clasificación funcional de maquinaria pesada utilizada en proyectos de construcción.

Categoría	Equipo	Función Principal
Movimiento de Tierras	Excavadora hidráulica	Excavaciones profundas, zanjas, cimentaciones
Movimiento de Tierras	Retroexcavadora (Backhoe)	Excavación, carga y nivelación en espacios reducidos
Movimiento de Tierras	Cargadora frontal (Loader)	Carga de material suelto (arena, tierra, escombros)
Transporte y Acarreo	Volqueta (Dump Truck)	Transporte de materiales sueltos
Transporte y Acarreo	Lowboy (Cama baja)	Traslado de maquinaria pesada entre obras
Concreto y Obras Civiles	Mezcladora de concreto (Mixer)	Transporte y mezcla de concreto
Concreto y Obras Civiles	Bomba de concreto	Bombeo de concreto a zonas de difícil acceso
Concreto y Obras Civiles	Planta dosificadora de concreto	Mezclado en sitio para grandes volúmenes
Vías y Asfaltado	Extendidora de asfalto (Paver)	Aplicación uniforme de mezcla asfáltica
Vías y Asfaltado	Compactador de asfalto	Compactación de carpeta asfáltica
Complementarios	Planta eléctrica portátil	Suministro eléctrico en obra
Complementarios	Torre de iluminación	Iluminación para trabajos nocturnos o interiores
Complementarios	Compresores y herramientas neumáticas	Uso con martillos neumáticos, limpieza, pintura, entre otros

**Fuente:** CODIHE.

Con base en el diagnóstico inicial y en la necesidad de fortalecer la seguridad operacional en el mantenimiento de maquinaria pesada, se plantea una propuesta metodológica estructurada en cuatro fases secuenciales: identificación, evaluación y mitigación. La importancia de adoptar un enfoque integral en la gestión de procesos ha sido destacada también en otros sectores operativos, como el de catering, donde la estructuración de procedimientos contribuye directamente a la eficiencia y control operativo (López-Salazar & Tinajero-Jiménez, 2024).

Esta estructura permite sistematizar el tratamiento de los riesgos operacionales desde su detección en el campo hasta su seguimiento, asegurando trazabilidad, análisis proactivo y acciones correctivas efectivas. Tal como se ha demostrado en otras industrias, la estandarización de procesos operativos es clave para lograr eficiencia y control estructurado (Sánchez-Rosero & Lalaleo-Quispe, 2021). Cada fase será apoyada por herramientas digitales o técnicas analíticas que integran principios del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS), adaptados al entorno industrial de la construcción. A continuación, se detalla el desarrollo de cada fase que conforma este modelo de gestión.

### Identificación de riesgos

El primer paso en la gestión de riesgos es la identificación de riesgos de seguridad operacional, que puede ser facilitada mediante una aplicación móvil o web. Esta herramienta permite a los técnicos de mantenimiento reportar riesgos en tiempo real, capturando descripciones detalladas, imágenes y clasificando el riesgo en categorías para facilitar el análisis posterior.

La identificación de riesgos constituye la primera etapa del proceso de gestión de riesgos de

seguridad operacional. En esta fase, se busca reconocer cualquier condición, evento o acción que pueda afectar la seguridad durante el mantenimiento de maquinaria pesada.

#### Herramienta propuesta:

Se implementará una aplicación móvil diseñada para que el personal técnico pueda reportar riesgos en tiempo real. Esta herramienta permite:

- Registrar el nombre del operador, lugar, fecha y hora del evento.
- Seleccionar la categoría del riesgo (mecánico, eléctrico, estructural, ambiental, otros).
- Indicar el tipo de tarea (mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo).
- Agregar una descripción libre del evento.

#### Procedimiento propuesto:

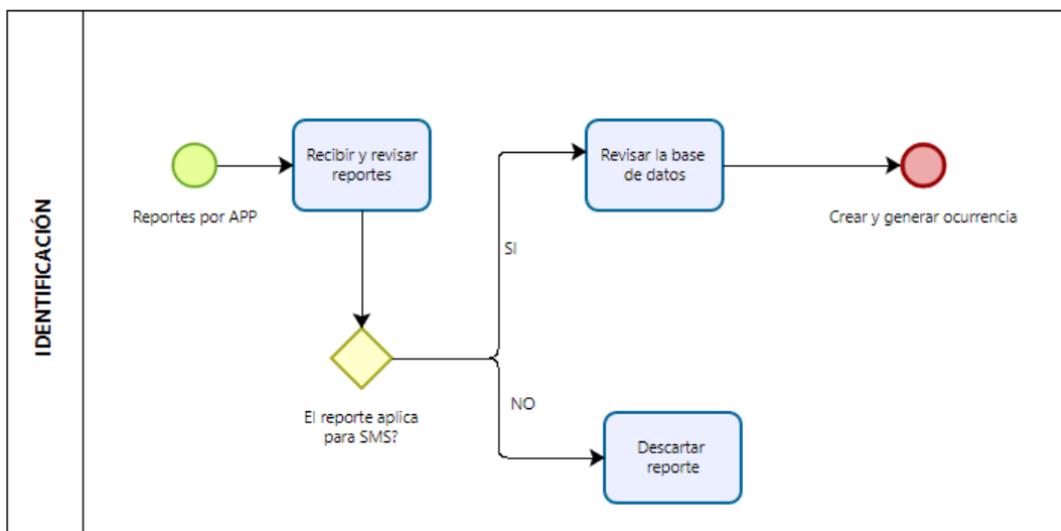
1. Cada técnico realizará el reporte de manera directa en el aplicativo desde el campo o taller.
2. La aplicación centraliza los datos en una base estructurada y exportable (Excel).
3. Se establecerá un catálogo base de riesgos recurrentes para facilitar la clasificación inicial.

#### Ventajas del sistema:

- Mejora la ubicación y consistencia de la información recolectada.
- Permite una rápida visualización de tendencias y riesgos emergentes.
- Reduce la subdeclaración de eventos por olvido o falta de formularios físicos.

La **Figura 1** detalla el flujo propuesto que seguirá cada reporte, desde su recepción hasta la validación y almacenamiento en la base de datos centralizada.

A través de esta secuencia, se garantiza que los eventos reportados sean filtrados conforme a su aplicabilidad dentro del sistema de gestión de riesgos de seguridad operacional. Los eventos que cumplan con los criterios establecidos serán registrados como ocurrencias, y aquellos que no, serán descartados de manera controlada para mantener la integridad del sistema de datos.



**Figura 1.** Flujograma propuesto para el proceso de identificación de riesgos mediante reportes digitales. Fuente: Elaboración propia.

## Evaluación de riesgos

Una vez identificado el riesgo, el siguiente paso en el proceso de gestión de riesgos de seguridad operacional es su evaluación. Esta etapa permite determinar la magnitud del riesgo con base en dos factores clave: la probabilidad de ocurrencia y la severidad del impacto. Su correcta valoración es esencial para priorizar acciones de mitigación y asignar recursos de forma eficiente.

En el contexto del mantenimiento de maquinaria pesada, la evaluación se realizará mediante una matriz de riesgo que cruza los niveles de severidad con los niveles de probabilidad, adaptada a los criterios del entorno industrial y basada en metodologías de seguridad operacional como las sugeridas por la OACI y las normas ISO (International Civil Aviation Organization, 2018; International Organization for Standardization, 2018).

### Herramienta propuesta:

Se utilizará una matriz de clasificación de riesgos con cuatro niveles de severidad (crítica, alta, media y baja) y cuatro niveles de probabilidad (muy probable, probable, poco probable e improbable). El cruce entre ambos factores genera una clasificación en categorías A, B, C y D, que determinan el nivel de atención y acción requerida (International Organization for Standardization, 2018).

		SEVERIDAD			
		IMPROBABLE	POCO PROBABLE	PROBABLE	MUY PROBABLE
PROBABILIDAD	CRÍTICA (Accidente catastrófico)	C (75)	B (125)	A (500)	A (2500)
	ALTA (Accidente mayor)	C (25)	C (30)	B (120)	A (600)
	MEDIA (Heridas menores o daños)	D (3)	C (5)	C (20)	B (100)
	BAJA (Sin consecuencias)	D (0.06)	D (0.1)	D (0.4)	D (22)

**Figura 2.** Ejemplo de matriz de evaluación de riesgos adaptada al mantenimiento de maquinaria pesada. Fuente: Adaptación propia con base en modelos de seguridad operacional OACI e ISO 31000.

**Categoría A:** Riesgo inaceptable. Detener operaciones y aplicar mitigación inmediata.

**Categoría B:** Alto riesgo. Requiere mitigación a corto plazo.

**Categoría C:** Riesgo moderado. Control y seguimiento continuo.

**Categoría D:** Riesgo aceptable. Puede mantenerse con monitoreo periódico

### Procedimiento propuesto:

Los reportes serán analizados, validando ocurrencias previamente asignadas. Se clasificará el riesgo, se asignarán descriptores y se evaluará si el evento requiere gestión prioritaria (assessment). En función de los resultados, se activará el tratamiento correspondiente, validando responsabilidades y asignaciones específicas. En el caso de eventos graves o repetitivos, se iniciará una investigación.

### Ventajas del sistema:

- Estandariza la priorización de riesgos operacionales.
- Facilita la toma de decisiones basada en datos.
- Reduce la subjetividad en la valoración del riesgo.
- Mejora la trazabilidad al integrar evaluación con reportes históricos.

Durante la fase de evaluación, los eventos reportados son analizados y clasificados en función de su criticidad, aplicando una matriz de riesgos. El flujo inicia con la revisión de las ocurrencias asignadas, seguido de la asignación de descriptores y la evaluación del riesgo. A partir del nivel de riesgo obtenido, se determina si el evento requiere gestión adicional (**Assessment**) o si debe escalar a una **Investigación formal**.

- Los eventos con **UR < 30** se consideran de bajo impacto y se **clasifican como casos para estadística**. No se requiere gestión activa, pero si se detecta una **repetición** frecuente del mismo tipo de riesgo, se podrá escalar a un proceso de assessment.
- Los **Assessment** aplican para eventos con nivel de riesgo con UR **entre 30 y 100**, orientados a detectar deficiencias organizacionales y emitir recomendaciones a las áreas responsables para mantener el riesgo en niveles aceptables.
- Las **Investigaciones** se aplican a eventos con **UR  $\geq$  100**, en los que se requiere una revisión más profunda mediante entrevistas, revisión documental y participación de un equipo técnico, con el objetivo de emitir un informe que identifique causas y establezca acciones correctivas.

Esta estructura permite una trazabilidad clara del tratamiento del riesgo, asegurando que las decisiones se basen en la magnitud del evento y en criterios de seguridad operacional previamente definidos.

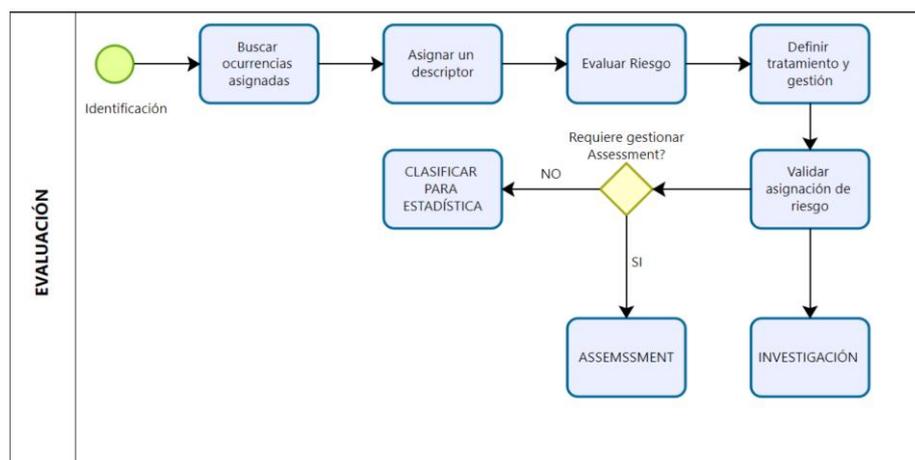


Figura 3. Flujograma del proceso de evaluación de riesgos operacionales. Fuente: Elaboración propia.

## Mitigación y tratamiento del riesgo

Una vez que se ha evaluado un riesgo y se ha generado un hallazgo (ya sea como resultado de una investigación formal o de un assessment), se inicia la fase de mitigación. Esta etapa tiene como finalidad identificar y aplicar acciones correctivas o preventivas que permitan reducir el nivel de riesgo, corregir deficiencias organizacionales y evitar la repetición de eventos similares en el futuro.

### Procedimiento propuesto:

Cada riesgo identificado y evaluado se somete a un análisis de causa raíz para determinar las medidas correctivas más efectivas. El proceso se activa con la comunicación del hallazgo al área responsable, seguido de su registro formal. A partir de allí, se inicia un proceso estructurado que se basa en la siguiente secuencia:

**Análisis de causa raíz:** Esta es una etapa clave del proceso. Aquí se busca identificar los factores contribuyentes reales detrás del evento, evitando quedarse únicamente en las causas superficiales. Para ello se utilizarán herramientas como el método de los 5 *porqués*, diagramas de Ishikawa y revisión de condiciones organizacionales, operativas y humanas "La evolución del análisis de causa raíz en la manufactura ha incorporado enfoques híbridos que combinan el conocimiento experto con técnicas basadas en datos, incluyendo la inteligencia artificial explicable, para mejorar la identificación de causas fundamentales y la toma de decisiones." (Pietsch et al., 2024). Solo cuando se ha validado que la acción propuesta realmente aborda la causa raíz, se procede a su implementación:

- Definición de acciones y responsables:** Las acciones pueden incluir la modificación de procedimientos, fortalecimiento de controles operativos, ajustes en las prácticas de mantenimiento o capacitación del personal. Cada acción tendrá un responsable designado y un plazo definido.
- Monitoreo de implementación:** Se verifica que las acciones se ejecuten en el tiempo establecido. Si no se cumplen los plazos, se solicitará una extensión formal y se documentarán las causas del retraso.
- Validación con evidencia:** Las acciones implementadas deberán estar respaldadas por evidencia documental (fotos, actas, registros en sistema, etc.), la cual será revisada por el área de seguridad operacional. Si la evidencia es válida y la acción resulta efectiva, se procederá con el cierre formal del hallazgo. Si no, se solicitará información adicional o se reiniciará el ciclo de análisis.

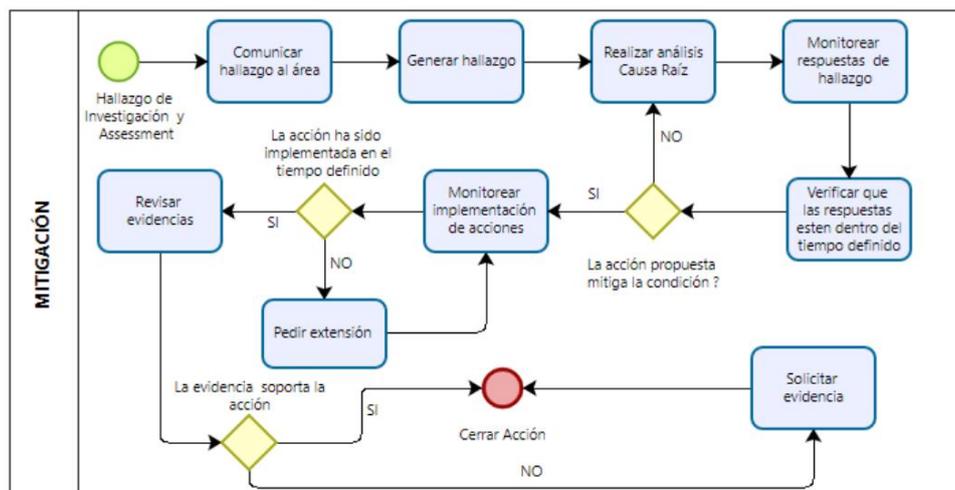


Figura 4. Flujograma del proceso de mitigación de riesgos operacionales. Fuente: Elaboración propia.



## Monitoreo y revisión continua

La última fase del proceso de gestión de riesgos es el monitoreo y la revisión continua de las acciones implementadas. Esta etapa garantiza que las medidas aplicadas mantengan su efectividad en el tiempo y que los riesgos no resurjan en formas distintas o con nuevas consecuencias. También permite retroalimentar el sistema con datos reales para ajustar procedimientos, mejorar controles y fortalecer la prevención.

## Seguimiento operativo

Una vez implementadas las acciones correctivas o preventivas, estas son objeto de seguimiento sistemático por parte del área de seguridad operacional. Se revisa la vigencia, el cumplimiento, la efectividad y la sostenibilidad de cada medida. Si un riesgo vuelve a manifestarse, se activa un nuevo análisis desde la fase de evaluación. Este monitoreo incluye:

- Verificación periódica en terreno de condiciones de trabajo.
- Evaluación de cumplimiento de procedimientos.
- Retroalimentación del personal técnico.
- Revisión de los datos registrados en la aplicación de reportes.

## Indicadores Clave de Seguridad Operacional (SPIs)

Como parte del sistema de gestión propuesto, se han definido tres Indicadores Clave de Seguridad (SPIs) adaptados al contexto del mantenimiento de maquinaria pesada. Estos indicadores permitirán evaluar el desempeño del sistema, detectar desviaciones, generar alertas tempranas y tomar decisiones informadas en función de los estándares operacionales establecidos por la empresa.

SPI 1: Cumplimiento de Especificaciones del Fabricante (OEM)  
Evalúa el grado en que las intervenciones de mantenimiento se realizan siguiendo los procedimientos establecidos por los fabricantes.

$$SPI_1 = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de intervenciones que siguen manuales OEM}}{N^{\circ} \text{ total de horas operativas}} \right) * 1000$$

Objetivo (SPT): < 5 intervenciones / 1,000 horas operativas.

Aspectos incluidos:

- Uso incorrecto de herramientas (ej. llaves no calibradas).
- Mantenimiento diferido (ej. filtros vencidos).
- Saltos de procedimiento (ej. torque incorrecto en pernos críticos).

SPI 2: Daños a Equipos o Componentes por Malas Prácticas  
Monitorea la cantidad de daños atribuibles a negligencia o fallas en la ejecución operativa del mantenimiento.

Fórmula:

$$SPI_2 = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de daños reportados}}{N^{\circ} \text{ total de horas operativas}} \right) * 1000$$

Objetivo (SPT): < 5 daños / 1,000 horas operativas.

Casos típicos:

- Daños por sobreesfuerzo (ej. grúas con sobrecarga).
- Golpes con equipos de soporte (ej. plataformas mal posicionadas).



- Manejo inadecuado de componentes (ej. contaminación de sellos hidráulicos).

SPI 3: Cumplimiento con Estándares Internos de la Compañía  
Mide el nivel de adherencia a las normas internas sobre seguridad, documentación y tiempos establecidos.

Fórmula:

$$SPI_3 = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de actividades que cumplan estándares (EPP, documentación)}}{N^{\circ} \text{ total de horas operativas}} \right) * 1000$$

Objetivo (SPT): < 5 actividades / 1,000 horas operativas.

Elementos evaluados:

- Uso de EPP (cascos, guantes, arnés en trabajos en altura).
- Documentación incompleta (checklists, reportes con evidencia, cierre de órdenes).
- Cumplimiento de tiempos establecidos por el plan de mantenimiento.

Estos indicadores serán visualizados y monitoreados a través de Power BI, permitiendo identificar tendencias, establecer alertas y generar reportes gerenciales.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados de investigación:

### Desarrollo e Implementación de Herramienta Digital de Reporte

Como parte del objetivo de modernizar la gestión de riesgos de seguridad operacional usando I tecnología 4.0, se desarrolló una aplicación móvil multiplataforma, basada en la tecnología Flutter con integración en la nube mediante Firebase. Esta herramienta fue diseñada específicamente para el personal de mantenimiento de maquinaria pesada en el sector construcción, con el fin de facilitar la recolección estructurada, rápida y precisa de reportes de eventos de riesgo en campo. "La implementación de la aplicación móvil se basó en las prácticas actuales de desarrollo con Flutter y Firebase, siguiendo metodologías que permiten una integración eficiente de servicios backend y una interfaz de usuario responsiva, como se detalla en la revisión de (Bhagat, 2022)." La aplicación permite:

- Registrar datos clave como nombre del operador, lugar del evento, fecha y hora.
- Seleccionar la categoría del riesgo entre: *mecánico, eléctrico, estructural, ambiental u otro*.
- Clasificar el tipo de tarea como: *mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo*.
- Describir detalladamente el evento.
- Almacenar automáticamente los datos en Firestore (Firebase)
- Exportar la información en formatos PDF y Excel para análisis y trazabilidad.

interfaz de usuario

La siguiente figura muestra la interfaz desarrollada:

Formulario de ingreso del evento de riesgo, incluyendo selección de fecha, categoría, tipo de mantenimiento y campo de descripción.



## Registro de Riesgos

Registre los detalles del evento para la evaluación y el registro de riesgos.

Título del Evento

Nombre del Operador

Ubicación

Fecha y Hora del Evento

April 2025						
Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3

Hora del Evento

Categoría de Riesgo

Tipo de Tarea

Tipo de Equipo

Descripción del Evento

Registrar Evento de Riesgo

Figura 5. Formulario principal de la aplicación. Elaboración propia.

Categoría de Riesgo

Seleccione una categoría de riesgo

- Mecánico
- Eléctrico
- Estructural
- Ambiental
- Otro

Figura 6. Menú desplegable para selección de categoría de riesgo. Elaboración propia.

Tipo de Tarea

Seleccione un tipo de tarea

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Área de Trabajo

Excavadora hidráulica

- Retroexcavadora (Backhoe)
- Cargadora frontal (Loader)
- Volqueta (Dump Truck)
- Lowboy (Cama baja)
- Mezcladora de concreto (Mixer)
- Bomba de concreto
- Planta dosificadora de concreto
- Extendedora de asfalto (Paver)
- Compactador de asfalto
- Planta eléctrica portátil

Seleccione un tipo de equipo

Figura 7. Tipos de tareas disponibles para clasificación. Elaboración propia.

Estas funcionalidades permiten consolidar una base de datos organizada desde el primer contacto con el riesgo, y facilitan su seguimiento mediante sistemas de visualización como Power BI y Excel, mejorando la efectividad de los SPI (Safety Performance Indicators) definidos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de 48 eventos registrados en el sistema de gestión de riesgos de seguridad operacional. Se analizaron los indicadores SPI en power BI haciendo uso de la tecnología 4.0, la clasificación del nivel de riesgo, la distribución mensual de reportes y el estado de los eventos.

### Distribución de Eventos por SPI

El gráfico de barras muestra que los indicadores clave de desempeño (SPI) más reportados fueron SPI3, seguido muy de cerca por SPI1 y SPI2, con una proporción prácticamente equilibrada (15, 14 y 14 eventos, respectivamente). Solo cuatro eventos no se asociaron a un SPI específico. Esto indica una cobertura balanceada entre prácticas de documentación (SPI3), cumplimiento técnico (SPI1) y daños derivados de malas prácticas (SPI2).

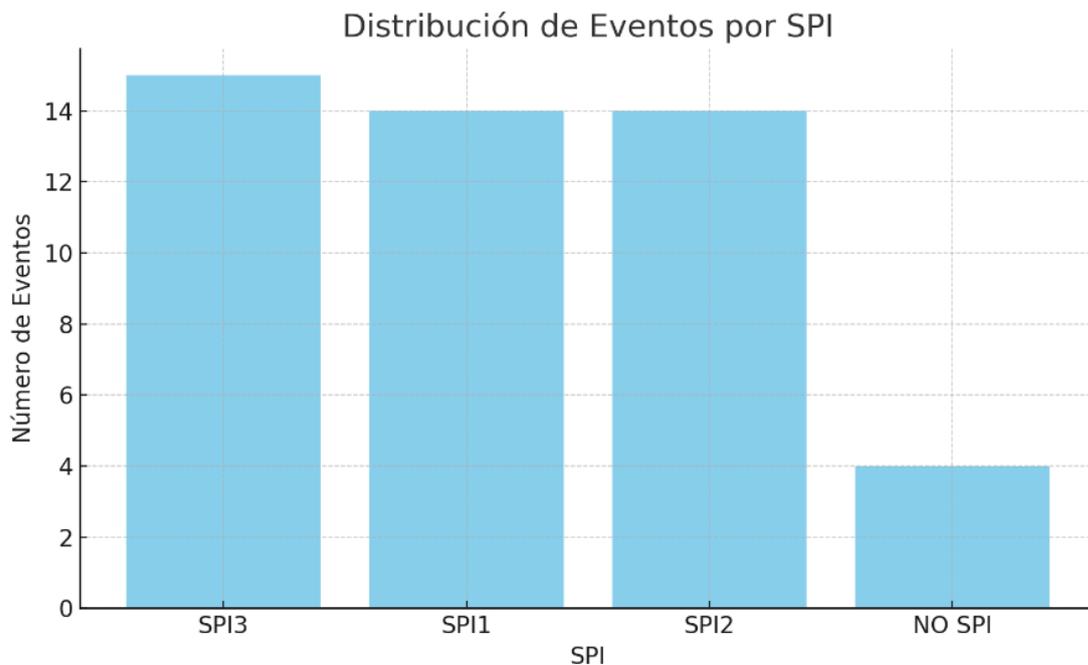


Figura 8. Distribución de Eventos por SPI. Elaboración propia.

### Clasificación de Riesgo de los Eventos

Los eventos se distribuyen mayoritariamente en las categorías TOLERABLE (19 casos), ACEPTABLE (16 casos) y DESEABLE (12 casos). Este perfil de riesgo refleja un sistema con prevalencia de riesgos controlables, aunque con necesidad de acciones correctivas recurrentes.

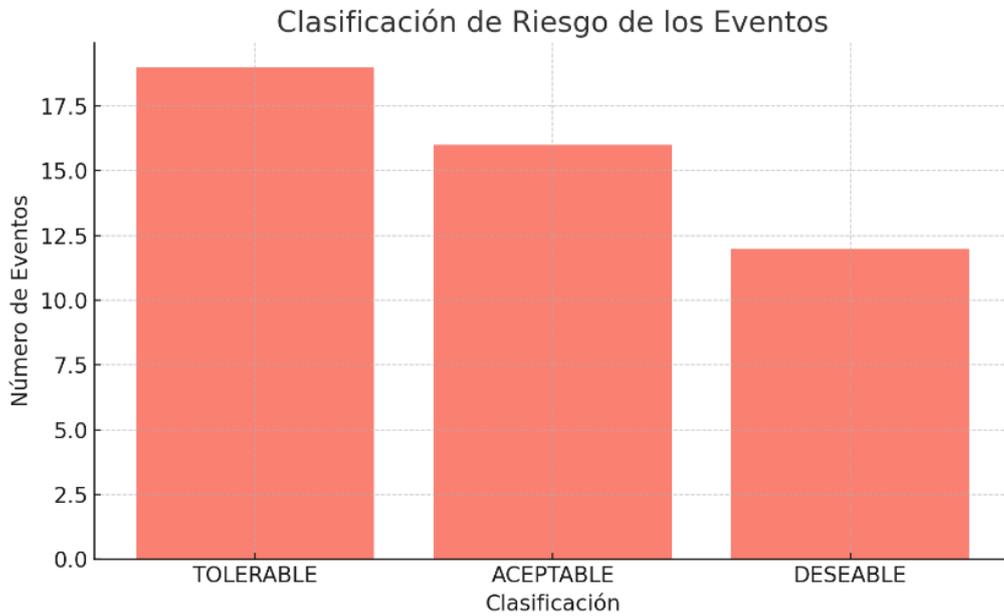


Figura 9. Clasificación de Riesgos. Elaboración propia.

#### Distribución Mensual de Eventos de Riesgo

La mayor concentración de eventos se registró en octubre, con 15 casos, seguido de diciembre y septiembre. Esto puede relacionarse con picos operativos o debilidades en planificación estacional de mantenimiento.

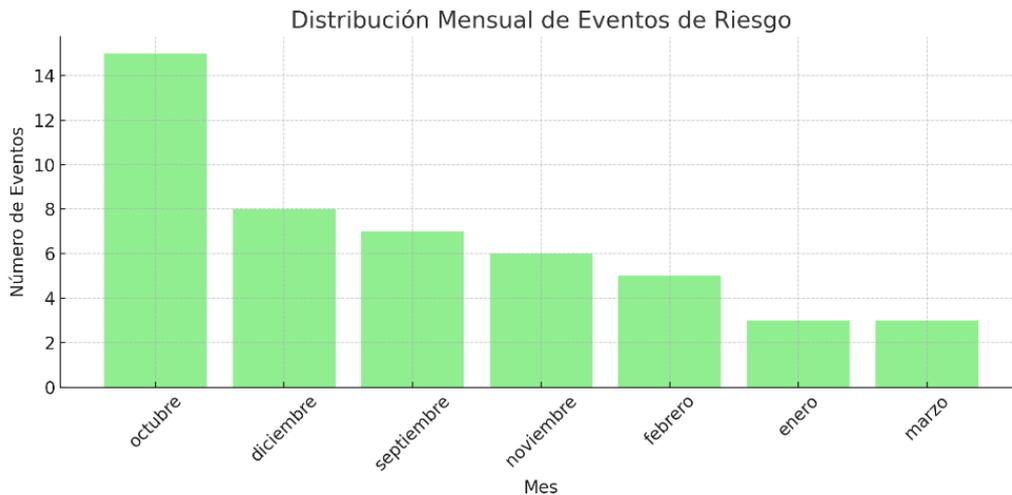


Figura 10. Distribución mensual de Eventos. Elaboración propia.



### Estado de los Eventos Reportados

Un 89.4% de los eventos ya han sido cerrados, mientras que un 10.6% aún se encuentra abierto. Esto evidencia una gestión reactiva activa, aunque todavía existen eventos en proceso que requieren seguimiento.

Estado de los Eventos Reportados

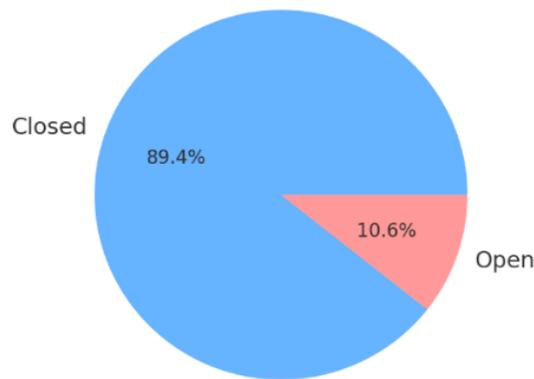


Figura 11. Estado de los Eventos. Elaboración propia.

### Comparación mensual de los SPI con metas ajustadas

Con base en la frecuencia del mantenimiento programado (cada 250 horas), las metas de desempeño (SPT) fueron ajustadas a un umbral más realista de  $\leq 10$  eventos por cada 1,000 horas operativas para cada uno de los SPI. A continuación, se analiza la tendencia mensual de cada indicador desde septiembre de 2024 hasta marzo de 2025.

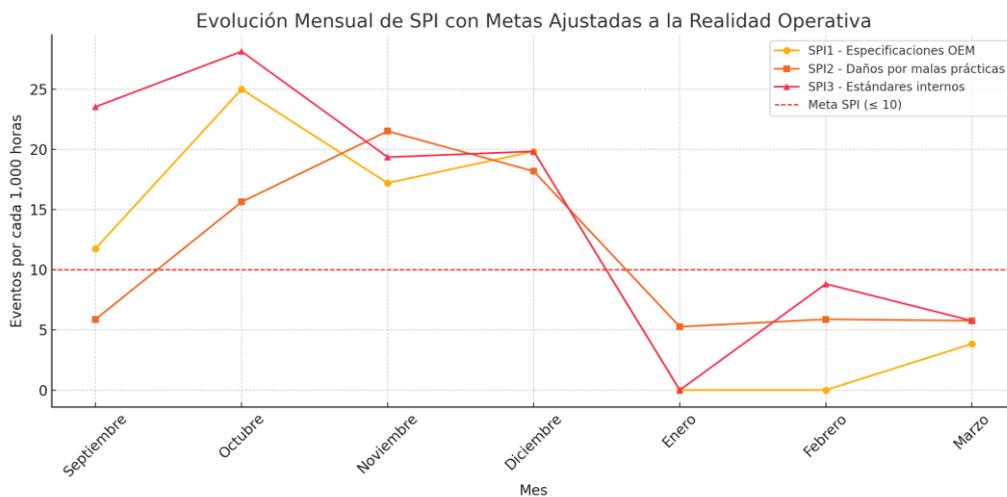


Figura 12. SPI vs Metas. Elaboración propia.



Los resultados muestran una mejora progresiva en el cumplimiento de los indicadores SPI tras la implementación del nuevo sistema de gestión de riesgos en mantenimiento. Durante el último trimestre de 2024, se evidencian niveles superiores al umbral establecido de 10 eventos por cada 1,000 horas en los tres SPI, lo cual revela una necesidad de ajustes iniciales.

A partir de enero de 2025, los tres indicadores comienzan a alinearse con las metas definidas, especialmente SPI1 y SPI2, que logran mantenerse dentro del objetivo. SPI3 muestra una tendencia descendente favorable, aunque aún supera levemente el límite, lo que sugiere reforzar controles documentales y de uso de EPP. Este análisis evidencia la utilidad de los SPI como herramientas de monitoreo y control continuo, facilitando la toma de decisiones basadas en datos para mejorar la seguridad operacional en mantenimiento de maquinaria pesada.

## CONCLUSIONES

La integración de un enfoque estructurado de gestión de riesgos de seguridad operacional en el mantenimiento de maquinaria pesada, inspirado en el Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS) del sector aeronáutico, ha demostrado ser una estrategia viable y eficaz para reducir incidentes, mejorar la trazabilidad de fallas y fomentar una cultura de seguridad preventiva en el sector construcción.

El desarrollo e implementación de herramientas digitales, como una aplicación móvil para el reporte de riesgos y el uso de indicadores clave de desempeño (SPI), permitió una recopilación de datos sistematizada y un análisis más preciso. La visualización de resultados mediante Power BI facilitó el monitoreo continuo y la toma de decisiones basada en evidencia, lo que representa un salto cualitativo en la gestión operativa.

Los resultados muestran una mejora progresiva en el cumplimiento de las metas ajustadas, con una tendencia positiva en la alineación de los indicadores con los umbrales establecidos. Sin embargo, la superación puntual de los límites en SPI3 indica que aún es necesario reforzar los controles internos, especialmente en aspectos como el uso de EPP y la documentación técnica.

## FINANCIAMIENTO

No monetario

## CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Cotopaxi: Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Javier Iván Sandoval Álvarez:** Responsable del diseño metodológico, recolección de datos y análisis cuantitativo. Participó en la redacción del manuscrito y en la interpretación de los resultados.

**Edison Patricio Salazar Cueva:** Supervisión académica, aportes al marco teórico y discusión de los resultados. También contribuyó a la revisión y edición final del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Bhagat, S. A. (2022). Review on mobile application development based on Flutter platform. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(1), 803–809. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39920>
- Cevallos-Betún, S. Á., Córdova-Peñañiel, D. T., & Guerra-Salazar, J. L. (2024). Gestión integral del mantenimiento de los equipos productivos en la Empresa Pulpa Moldeada "PULPAMOL" [Integral management of the maintenance of production equipment in the Pulpa Moldeada "PULPAMOL" company]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(especial2), 19–33. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial2.215>



- Dapan, M., Vukićević, A., Mačužić, I., Todorović, P., Mijović, N., & Savković, M. (2019). Safety 4.0: Modern talking or necessity. *Proceedings on Engineering Sciences*, 1(2), 349–354. <https://doi.org/10.24874/PES01.02.031>
- Hinze, J., Thurman, S., & Wehle, A. (2013). Leading indicators of construction safety performance. *Safety Science*, 51(1), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.016>
- International Civil Aviation Organization. (2018). *Safety management manual (Doc 9859)* (4th ed.). ICAO.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines* (2nd ed.).
- López-Salazar, M. Y., & Tinajero-Jiménez, M. R. (2024). Gestión de procesos en el sector de catering: Un enfoque integral [Process management in the catering industry: A comprehensive approach]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(especial2), 1–11. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial2.183>
- Pietsch, D., Matthes, M., Wieland, U., Ihlenfeldt, S., & Munkelt, T. (2024). Root cause analysis in industrial manufacturing: A scoping review of current research, challenges and the promises of AI-driven approaches. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(6), 277. <https://doi.org/10.3390/jmmp8060277>
- Sánchez-Rosero, J. I., & Lalaleo-Quispe, G. V. (2021). Estandarización de los procesos productivos para mejorar la eficiencia en la empresa CAPOLIVERY [Standardization of production processes to improve efficiency in the CAPOLIVERY company]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(especial2), 34–48. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial2.239>
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (2023). *National census of fatal occupational injuries in 2022*. [https://www.bls.gov/news.release/archives/cfoi\\_12192023.pdf](https://www.bls.gov/news.release/archives/cfoi_12192023.pdf)

**Derechos de autor: 2025 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>