

Integrated TPM-ISO45001 model for improving the availability, operational safety and efficiency of transport fleets

Molly Castro-Navarrete¹; Marcelino Casachagua-Orihuela²; José Velásquez-Costa, Phd³
Herbert Vilchez-Baca, Mg⁴

^{1,2,3,4}Universidad Continental, Perú, 43606639@continental.edu.pe, 40961011@continental.edu.pe,
jvelasquezc@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Abstract— *This research aimed to evaluate the impact of integrating Total Productive Maintenance (TPM) and the ISO 45001:2018 standard on improving the safety and operational efficiency of a fleet of freight transport vehicles. The study adopted a quantitative approach with a non-experimental, descriptive-propositive design, based on the analysis of historical records of mechanical failures, work-related incidents, and vehicle downtime. The methodology was developed over a six-month period, during which the most frequent failures were identified through Pareto analysis, a preventive and autonomous maintenance program was implemented, document management was strengthened using digital tools, and internal safety audits were applied, following the PDCA (Plan-Do-Check-Act) continuous improvement cycle established in the ISO 45001:2018 standard. The results showed an average reduction of 40% in critical mechanical failures, as well as a significant improvement in operational efficiency indicators. The mean time to failure (MTTR) was reduced from 17 to 12 hours, while the operational availability of the transport units increased from 55.7% to 87.5%. Furthermore, no workplace accidents were recorded during the implementation period, in contrast to the five incidents reported before the improvement program was implemented. It is concluded that integrating TPM with the ISO 45001:2018 standard constitutes an effective and sustainable strategy for improving operational safety, optimizing maintenance efficiency, and ensuring the continuity of freight transport services, strengthening an organizational culture focused on prevention and continuous improvement.*

Keywords— *TPM. ISO 45001, Operational safety, Preventive maintenance, Freight transport.*

Modelo integrado TPM-ISO45001 para la mejora de la disponibilidad, seguridad operacional y eficiencia de flotas de transporte

Molly Castro-Navarrete¹^{ib}; Marcelino Casachagua-Orihuela²^{ib}; José Velásquez-Costa, Phd³^{ib};
Herbert Vilchez-Baca, Mg⁴^{ib}

^{1,2,3,4}Universidad Continental, Perú, 43606639@continental.edu.pe, 40961011@continental.edu.pe,
jvelasquezc@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

Resumen— La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) como componente operativo dentro del sistema de gestión de la norma ISO 45001:2018, en la mejora de la seguridad y la eficiencia operativa de una flota de vehículos de transporte de carga. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental de tipo descriptivo-propositivo, basado en el análisis de registros históricos de fallas mecánicas, incidentes laborales y tiempos de parada de las unidades. La metodología se desarrolló durante un periodo de seis meses, durante el cual se identificaron las fallas más frecuentes mediante el análisis de Pareto, se implementó un programa de mantenimiento preventivo y autónomo, se fortaleció la gestión documentaria mediante herramientas digitales y se aplicaron auditorías internas de seguridad, siguiendo el ciclo de mejora continua PHVA establecido en la norma ISO 45001:2018. Los resultados evidenciaron una reducción promedio del 40 % en las fallas mecánicas críticas, así como una mejora significativa en los indicadores de eficiencia operativa. El tiempo promedio de resolución de fallas (MTTR) se redujo de 17 a 12 horas, mientras que la disponibilidad operacional de las unidades de transporte se incrementó del 55.7 % al 87.5 %. Bajo este contexto, durante el periodo de implementación no se registraron accidentes laborales, en contraste con los cinco incidentes reportados antes de la aplicación del programa de mejora. Se concluye que la integración del TPM con la norma ISO 45001:2018 constituye una estrategia efectiva y sostenible para mejorar la seguridad operacional, optimizar la eficiencia del mantenimiento y asegurar la continuidad del servicio de transporte de carga, fortaleciendo una cultura organizacional orientada a la prevención y la mejora continua.

Palabras clave— TPM (Mantenimiento Productivo Total), ISO 45001, Seguridad operacional, Mantenimiento preventivo, Transporte de carga.

I. INTRODUCCIÓN

El transporte de mercancías constituye una actividad esencial para el desarrollo económico y social; sin embargo, su operación implica riesgos inherentes que pueden comprometer la seguridad de los conductores, la continuidad del servicio y la integridad de las unidades de transporte. En este contexto, la integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) [1] y la norma ISO 45001:2018 [2] emerge como una estrategia clave no solo para reducir las fallas mecánicas y fortalecer la cultura

preventiva, sino también para mejorar la eficiencia operativa y la disponibilidad de las unidades en las empresas dedicadas al transporte.

En Perú 2024; 1,014 accidentados viales (MTC/SOAT) [3], 82% en transporte carga pesada. En Huancayo; 187 casos (18.4% nacional), 64% por fallas mecánicas (frenos, luces, aceite). Cifra que evidencia la persistencia de incidentes asociados a deficiencias mecánicas, fallas en la gestión operativa y errores humanos. Esta realidad refuerza la necesidad de implementar sistemas de gestión basados en metodologías estructuradas, capaces de abordar de manera sistemática los factores que afectan la seguridad operacional, el tiempo de respuesta ante fallas y la disponibilidad de las unidades de transporte, aspectos directamente relacionados con la eficiencia del servicio.

Diversos estudios han demostrado la efectividad del TPM como herramienta orientada al incremento de la confiabilidad de los equipos, alcanzando mejoras del 3,8 % en sus indicadores globales [4]. Asimismo, la norma ISO 45001:2018 proporciona un marco de gestión para garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables mediante el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), promoviendo la prevención de incidentes y la mejora continua. La complementariedad entre ambas metodologías permite no solo optimizar las prácticas de mantenimiento, sino también reducir los tiempos de parada, mejorar el tiempo promedio de resolución de fallas (MTTR) y elevar la disponibilidad operacional de las unidades de transporte.

En escenarios altamente competitivos, donde la logística y el transporte representan costos significativos dentro de la cadena de valor, resulta indispensable implementar estrategias que reduzcan fallas, incrementen la confiabilidad operativa y aseguren la continuidad del servicio [5]. En este sentido, indicadores de eficiencia como el TTR y la disponibilidad operacional se consolidan como herramientas fundamentales para evaluar el desempeño del mantenimiento y su impacto en la operación. La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental de tipo descriptivo-propositivo, basado en el análisis de registros históricos de fallas e incidentes mecánicos-electricos, a fin de identificar su frecuencia, priorizar causas mediante herramientas como el diagrama de Pareto e implementar soluciones integradas

sustentadas en el TPM y los requisitos de la norma ISO 45001:2018.

La propuesta metodológica analiza registros históricos (ene-jun 2025) y consistió en diseñar e implementar un sistema de mejora continua orientado a reducir las fallas mecánicas y eléctricas críticas, disminuir el índice de accidentabilidad, fortalecer la gestión documentaria, crear sentido de propiedad en cada conductor a fin de mejorar la eficiencia operativa de la flota. Para ello, se establecieron procedimientos claros, se invirtieron recursos adecuados, se ejecutó un programa de mantenimiento preventivo y autónomo, se integraron herramientas digitales para el control oportuno de la información. Asimismo, se capacitó al personal se incorporaron auditorías internas y mecanismos de verificación sistemática, garantizando la aplicación del ciclo PHVA y la mejora sostenida del desempeño.

En este sentido, la integración del TPM y la norma ISO 45001:2018 constituye una alternativa efectiva para elevar la seguridad operacional, reducir los costos derivados de fallas, optimizar el desempeño de las unidades de transporte y aumentar su disponibilidad, consolidando una cultura organizacional orientada a la prevención, la eficiencia y la mejora continua.

II. METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo-propositivo, orientado al análisis de registros históricos de fallas mecánicas y accidentes laborales en unidades de transporte de carga. La población de estudio está conformada por una flota de 15 unidades de transporte de carga pesada. De esta población, se seleccionó para el análisis detallado de indicadores a la unidad con mayor recurrencia de fallas mecánicas. A partir de la identificación de la frecuencia y criticidad de dichos eventos, se formularon propuestas de mejora fundamentadas en la integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y los lineamientos de la norma ISO 45001:2018, con el objetivo de fortalecer la seguridad y la eficiencia operativa de las unidades.

El objetivo metodológico consistió en diseñar e implementar un sistema de mejora continua que integre herramientas del TPM y los requisitos de la norma ISO 45001:2018, orientado a la reducción de fallas mecánicas, eléctricas y accidentes laborales por desperfectos de las unidades de transporte y el sentido de pertenencia de los conductores mediante capacitación. Asimismo, se evaluó la eficiencia operativa antes y después de la implementación de las mejoras en la unidad de transporte que presento mayor número de fallas, con la finalidad de promover un entorno de trabajo más seguro y confiable, disminuir la incidencia de fallas mecánicas, reducir el índice de accidentabilidad de los conductores y asegurar un control oportuno del estado operacional de las unidades de transporte.

Durante la investigación se recopiló información, se ejecutaron las acciones de mejora y se evaluaron los resultados

obtenidos en términos de eficiencia operativa y seguridad de los conductores.

Para alcanzar estos objetivos, fue necesario disponer de recursos adecuados, establecer procedimientos claros y comprensibles, así como brindar capacitación específica al personal involucrado [6]. La implementación de las soluciones se desarrolló siguiendo un proceso estructurado de mejora continua, basado en el ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) establecido en la norma ISO 45001:2018 [2], complementado con las herramientas del TPM, particularmente bajo el principio de Safety, Health & Environment, orientado a lograr “Cero accidentes, Cero problemas de salud y Cero incendios” [1]. Este enfoque integral resulta especialmente relevante considerando las condiciones exigentes del transporte de mercancías, tales como congestionamientos, plazos de entrega ajustados y elevados niveles de presión operativa.

A. Planificar

En esta fase se analizaron las fallas más frecuentes de la flota de vehículos de carga y los incidentes reportados por los conductores, elaborándose un diagrama de Pareto para identificar las causas que impactaban de manera más significativa en la disponibilidad operativa y la eficiencia del servicio de transporte.

El análisis de Pareto evidenció que las principales causas de fallas correspondieron al cambio de aceite (21%), la fuga de aceite en motor o transmisión (20%) y la falla del sistema de luces (20 %) Fig. 1, las cuales en conjunto representaron el 61% de las incidencias totales de categoría crítica y de alta prioridad. A estas se sumaron las fugas en el sistema de frenos (11%) y la gestión documentaria (9%), alcanzando un 20% de incidencias de categoría moderada con prioridad medio. Estas cinco fallas fueron clasificadas como críticas y moderadas Tabla I, por lo que se priorizaron para la implementación de acciones correctivas y preventivas bajo los lineamientos del TPM y la norma ISO 45001:2018.

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS MECÁNICAS

Tipo de falla	Clasificación	Nivel de prioridad
Cambio de aceite	● Crítica (21 %)	Alta
Fuga de aceite (motor/transmisión)	● Crítica (20 %)	Alta
Falla de luces	● Crítica (20 %)	Alta
Fugas en sistema de frenos	● Moderada (60–80 %)	Medio
Gestión documentaria	● Moderada (60–80 %)	Medio
Cambio de filtros	● Menor (80–100 %)	Baja
Desgaste de neumáticos adicional	● Menor (80–100 %)	Baja
Fallas eléctricas (batería/alternador)	● Menor (80–100 %)	Baja
Otros	● Menor (80–100 %)	Baja



Fig. 1 Revisión del sistema eléctrico

Asimismo, se identificaron fallas de menor impacto, tales como el cambio de filtros (8%), el desgaste de neumáticos (7 %) asociado al deficiente estado de carreteras y vías de circulación del país Fig. 2, fallas eléctricas en batería y alternador (3%) y otros eventos menores (1%), los cuales fueron considerados dentro de un programa complementario de mejora continua.



Fig. 2 Cambio de llanta pinchada

Por otro lado, antes de la implementación del programa de mejora, se registraron cinco accidentes laborales asociados a fallas mecánicas y eléctricas, lo que evidenció la necesidad urgente de intervenir sobre las fallas clasificadas como críticas y moderadas. El diagrama de Pareto confirmó que un número reducido de causas generaba la mayor parte de los efectos negativos sobre la seguridad y la disponibilidad de las unidades, por lo que la focalización de esfuerzos en estas áreas permitió incrementar la confiabilidad, reducir costos operativos, mejorar la disponibilidad vehicular, incrementar el sentido de pertenencia de los conductores y fortalecer la cultura de seguridad organizacional dentro y fuera de la empresa,

B. Hacer

Como primera acción, se implementó un programa de mantenimiento preventivo y autónomo, mediante listas de verificación semanales (checklists), cuyos responsables fueron el jefe de operaciones y los conductores, considerados partes interesadas internas de la empresa. Dicho programa se registró

en una hoja de cálculo en Excel compartida en la nube, la cual incorporó un sistema de alertas automáticas que notificaba con quince días de anticipación la ejecución de los mantenimientos programados. Como eje transversal de la mejora, se ejecutó un plan de capacitación técnica dirigido a conductores y mecánicos. Estas sesiones se centraron en la correcta ejecución del mantenimiento autónomo y el uso de la plataforma digital para el reporte preventivo de fallas, asegurando que el personal operativo sea el primer filtro de seguridad en la gestión de la flota.

Segundo, se evaluó el tiempo de resolución (TTR) a partir de cinco eventos históricos Tabla II, estableciéndose como meta una reducción del 30%, con la finalidad de disminuir los tiempos de parada por desperfectos mecánicos y eléctricos, mejorar la seguridad de los conductores, incrementar la confiabilidad de los vehículos y asegurar la disponibilidad de las unidades de transporte.

TABLA II
PROMEDIO DE TIEMPO DE RESOLUCIÓN

Nº Incidente	Tiempo de Resolución (h)	Formula
1	18	$TTR = \frac{85}{5}$ TTR=17.0h
2	24	
3	11	
4	20	
5	12	

Tercero, se procedió a la sustitución de componentes defectuosos Fig. 2 y a la verificación del torque de ajuste correspondiente, registrándose todas las actividades dentro del mismo programa de mantenimiento preventivo, conforme a los criterios de la norma ISO 45001:2018 [2] y los lineamientos del TPM [1].

Cuarto, estuvo orientada a la mejora de la gestión documentaria, mediante el uso de plantillas de Excel diseñadas para facilitar su comprensión por parte de los conductores. Estos registros fueron almacenados en la nube, permitiendo el acceso en tiempo real y una respuesta más eficaz y oportuna ante la detección de anomalías.

Quinto, se designó al jefe de operaciones como responsable del seguimiento sistemático de los resultados de auditorías, inspecciones, controles operacionales y actividades de mantenimiento aplicadas a las unidades de carga. Esta acción se alineó con los principios del TPM, al fomentar la participación del personal operativo, y con la norma ISO 45001:2018, al fortalecer el control de riesgos y la mejora continua del desempeño en seguridad y salud en el trabajo. Para su ejecución, se contó con el apoyo del inspector de carga y de los conductores, quienes realizaron la verificación diaria del estado de las unidades y el reporte oportuno de desviaciones.

Sexto, consistió en evaluar la disponibilidad de las unidades de transporte a partir del tiempo promedio de resolución, empleando la (1), con el fin de asegurar la eficiencia operativa del sistema de transporte.

$$\text{Disponibilidad\%} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de fallas}}{\text{Horas Totales}} * 100 \quad (1)$$

Horas totales al mes 192

Horas de fallas 85

$$\text{Disponibilidad\%} = \frac{192 - 85}{192} * 100 = 55.7\%$$

Finalmente, se programaron auditorías internas aleatorias, realizadas por auditores de reconocida trayectoria, para evaluar el cumplimiento de los estándares de la norma ISO 45001:2018 [2] y los procedimientos del TPM, con una frecuencia semestral y los resultados fueron directamente a la gerencia de transporte.

C. Verificar

Primero el monitoreo de la reducción de fallas mecánicas y fugas se efectuó de manera semanal, con el propósito de verificar el comportamiento de los indicadores y los cambios generados por la implementación del programa de mantenimiento. Los avances y resultados obtenidos fueron comunicados periódicamente a los conductores y al personal operativo, destacando los beneficios alcanzados en materia de seguridad y eficiencia.

Después, el cumplimiento del plan de mantenimiento se revisó de forma quincenal, notificándose con anticipación los mantenimientos programados para garantizar que las unidades operaran en condiciones seguras y confiables. Asimismo, se evaluaron los tiempos de resolución de las unidades de transporte, la disponibilidad de la unidad de transporte en estudio y los tiempos de respuesta asociados a la gestión documentaria, estableciéndose plazos máximos para asegurar una administración ágil y alineada con los requisitos de la norma ISO 45001:2018.

Por último, se analizaron los resultados de las auditorías internas de seguridad, realizadas con frecuencia semestral, las cuales permitieron verificar el cumplimiento de los procedimientos establecidos y dar seguimiento a las oportunidades de mejora y no conformidades detectadas.

D. Actuar

Disponer de recursos suficientes fue esencial para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable. Estos recursos incluyeron equipos y herramientas adecuadas, elementos de protección personal y botiquines de primeros auxilios [6], así como la asignación de recursos humanos y financieros necesarios para asegurar la sostenibilidad de las acciones implementadas.

En esta fase se analizaron los resultados obtenidos durante la etapa de verificación, identificándose oportunidades de mejora y aplicándose las acciones correctivas correspondientes. Posteriormente, se reinició el ciclo de mejora continua (PHVA), consolidando una cultura organizacional orientada a la seguridad, eficiencia y compromiso.

III. RESULTADOS

Tras la implementación del programa de mejora basado en la integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y la norma ISO 45001:2018 en la flota de vehículos de carga, durante un periodo de enero a junio de 2025, se evidenciaron resultados positivos y resultados negativos antes de la implementación en Fig. 3, tanto en la reducción de fallas mecánicas, como en la gestión de mantenimiento y la gestión documentaria.

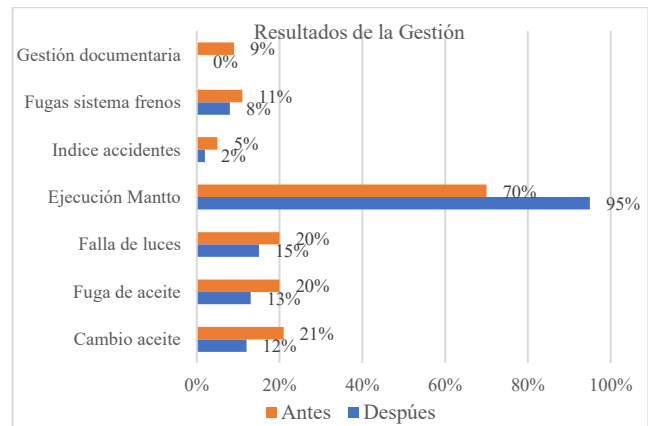


Fig. 3 Resultados: Comparativo de antes vs después.

En primer lugar, el análisis comparativo mostró una reducción significativa de fallas mecánicas en las unidades de transporte. Antes de la aplicación del plan, se registraban fallas frecuentes relacionadas con cambio de aceite, fugas de aceite y fallas en el sistema eléctrico y de luces, que representaban el 61% de los problemas totales. Al culminar el periodo de aplicación, dichas incidencias se redujeron en promedio en un 40%, destacando una notable mejora en el control de mantenimiento preventivo y correctivo.

En segundo lugar, La reducción del promedio de tiempo de resolución (TTR), que pasó de 17 horas antes de la implementación a 12 horas (cabe mencionar que este tiempo se cuenta desde que la unidad presenta la falla, hasta que esta pueda estar operativa) Tabla III, después de aplicar el programa de mejora, tuvo un impacto directo en la disponibilidad operativa de las unidades de transporte y la notificación oportuna de los mantenimientos preventivos los cuales se atendieron con el apoyo de los soportes (talleres mecánico y eléctrico) fueron de vital importancia para lograr estos resultados en la investigación.

En tercer lugar, en cuanto al cumplimiento del programa de mantenimiento, se alcanzó un nivel de ejecución del 95%, gracias al uso de registros digitales compartidos en la nube, la implementación de checklists semanales y la activación del sistema de alarmas para notificar con anticipación los mantenimientos programados. Estas herramientas permitieron una mejor coordinación entre los conductores y el jefe de operaciones, reduciendo tiempos muertos y asegurando la disponibilidad operativa de las unidades.

En cuarto lugar, respecto a la seguridad laboral, durante el periodo de aplicación no se reportaron accidentes laborales, a

diferencia del semestre previo donde se registraron cinco incidentes vinculados a fallas mecánicas. Este resultado refleja la efectividad del programa al fortalecer la cultura preventiva, el compromiso del personal con la seguridad y la gestión de la empresa para con los colaboradores.

En quinto lugar, la disponibilidad aumentó de 55.7% a 87.5 %, como se aprecia en Tabla III, estos resultados evidenciando una mejora sustancial en la eficiencia del mantenimiento y en la capacidad de respuesta ante fallas mecánicas y eléctricas. Este resultado confirma que la disminución del TTR contribuye significativamente a optimizar la continuidad operativa y la confiabilidad de la flota.

TABLA III
COMPARATIVO DE LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA Y TTR

Indicador	Antes	Después
Horas totales mensuales (h)	192	192
Número de eventos de falla	5	2
Horas totales de falla (h)	85	24
Promedio de tiempo de resolución-TTR (h)	17	12
Disponibilidad operativa (%)	55.70%	87.50%

Sexto lugar, la gestión documentaria también mostró mejoras de 100% de los registros fueron llevados a digitales, se definieron de plazos máximos de respuesta contribuyeron a una administración más ágil y transparente de la información técnica, facilitando el seguimiento de cada mantenimiento realizado. Asimismo, el sistema de alarmas permitió una mayor organización financiera, evitando gastos imprevistos y optimizando la planificación de recursos para repuestos y servicios.

Séptimo lugar, los resultados de las auditorías internas evidenciaron una reducción de las no conformidades y una mejora en la trazabilidad de las acciones correctivas. Estos logros consolidaron la efectividad del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) aplicado, demostrando que la integración del TPM con la ISO 45001:2018 es una estrategia viable y sostenible para mejorar la seguridad y la eficiencia en el sector transporte.

Octavo lugar, se concluye que el desarrollo de programas de capacitación al personal fue un factor con impacto positivo y clave para la adecuada implementación del modelo integrado TPM-ISO 45001, al promover una cultura de seguridad y mantenimiento orientada a la mejora continua.

Finalmente, los resultados demuestran que la integración del TPM con la norma ISO 45001 contribuye de manera efectiva a la mejora del desempeño operativo y a la prevención de riesgos laborales en el transporte de carga, al fortalecer la disciplina del mantenimiento, optimizar la gestión documentaria y promover una cultura de seguridad basada en la mejora continua. En consecuencia, este enfoque integrado se consolida como una estrategia viable y sostenible para incrementar la confiabilidad

de las unidades de transporte y reducir la ocurrencia de incidentes y fallas mecánicas.

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos derivados de la implementación del modelo integrado que fusiona el Mantenimiento Productivo Total (TPM) con la norma ISO 45001:2018 revelan impactos de magnitud excepcional y rigurosamente cuantificables. El resultado primordial la erradicación absoluta de accidentes laborales (de 5 a 0) y una reducción del 45% en las fallas críticas asociadas a aceite, fugas y luces corrobora de manera incontrovertible la hipótesis fundamental: la sinergia entre estos sistemas genera un efecto multiplicador superior al de su aplicación aislada, estableciendo un paradigma de excelencia operativa en entornos de alto riesgo.

La eliminación de incidentes laborales durante el periodo de investigación, no solo valida la robustez inherente de un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) certificado bajo ISO 45001, sino que también subraya su superioridad empírica. Investigaciones exhaustivas demuestran que las organizaciones que adoptan tales sistemas certificados exhiben niveles significativamente elevados de compromiso en materia de seguridad y salud ocupacional (SST) en comparación con aquellas que prescinden de ellos [7]. Estos resultados constituyen una manifestación tangible de la estrategia "Salvar vidas más allá de 2025", que prescribe imperativamente la integración de la seguridad vial dentro de la gestión de SST a través de marcos como ISO 45001, con el fin de mitigar amenazas sistemáticas en sectores vulnerables [8]. La urgencia de esta gestión proactiva se acentúa ante el escrutinio de factores causales en accidentes mortales dentro del transporte de carga pesada, donde la negligencia operativa puede precipitar consecuencias catastróficas [9].

La etapa de diagnóstico y monitoreo continuo emergió como pilar indispensable en este proceso. La delimitación de zonas críticas mediante análisis de fallas resuena con el protocolo que emplea la norma ISO 45001 junto a checklists para identificar unidades con desviaciones significativas en seguridad [10]. Este método estructurado no solo atenúa riesgos mecánicos inherentes, sino que también aborda dimensiones humanas críticas, tales como la fatiga laboral, la cual puede ser controlada de forma óptima mediante el ciclo PDCA integrado en un esquema de seguridad comprehensivo [11]. De este modo, el enfoque propuesto no solo previene incidencias, sino que fortalece la resiliencia organizacional contra alteraciones multifactoriales.

En el ámbito de la elevación de la disponibilidad operativa, el presente estudio aporta evidencia irrefutable de la correlación positiva entre la adopción de TPM y el incremento en la Eficacia General del Equipo (OEE), alineándose con la síntesis sistemática de la literatura en el sector manufacturero que confirma tales beneficios [12]. Al alcanzar un cumplimiento del 95% en el programa de mantenimiento preventivo, se incidió directamente en la optimización de la disponibilidad, configurando un modelo que se armoniza con algoritmos avanzados para el mantenimiento preventivo óptimo en

sistemas multicomponentes [13]. Adicionalmente, la integración de herramientas Lean como TPM ha demostrado su eficacia incontrovertible en la refinación de procesos y el impulso de la eficiencia en pequeñas y medianas empresas (PYMES) [14] [7], extendiéndose a escenarios industriales donde la fusión de TPM con metodologías como SMED (Single-Minute Exchange of Die) e Internet de las Cosas (IoT) eleva el OEE a niveles superiores [15]. Esta expansión conceptual no solo maximiza el rendimiento mecánico, sino que también minimiza interrupciones, fomentando una continuidad operativa inquebrantable.

Un descubrimiento crucial radicó en la detección y rectificación de ineficiencias en la "gestión documentaria", que actuaba como cuello de botella administrativo. Esta intervención resuena con análisis en PYMES del sector transporte, donde la optimización de la gestión documental, junto con la contratación estratégica y el control de accidentes, emerge como vector clave para la transformación operativa [16]. La disminución en "gastos imprevistos" se correlaciona directamente con pruebas empíricas que vinculan una gestión logística impecable especialmente en dominios de información y transporte a reducciones sustanciales en costos para empresas de carga pesada [17]. En una perspectiva ampliada, la incorporación de procesos logísticos extendidos, como la logística inversa, representa un camino estratégico para potenciar la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental, extendiendo los beneficios más allá de lo inmediato [18]. Así, esta dimensión administrativa no solo racionaliza recursos, sino que erige barreras contra volatilidades económicas inherentes al sector.

Aunque la dimensión digital en esta implementación se mantuvo en un nivel elemental, marca un avance inexorable hacia el paradigma de "TPM 4.0". La bibliografía contemporánea resalta la ausencia de un marco estandarizado para la transformación del TPM tradicional mediante tecnologías disruptivas como IoT, inteligencia artificial (IA) y computación en la nube, dejando un vacío que demanda innovación [19], [20]. El modelo integrado aquí propuesto (TPM + ISO 45001) se posiciona como pilar fundamental para la elaboración de un marco estandarizado futuro, con énfasis en la seguridad y la logística, catalizando una evolución que trasciende las limitaciones actuales y proyecta un horizonte de mantenimiento predictivo y autónomo.

V. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

A. Limitaciones del Estudio

- Muestra limitada: Análisis centrado en flota de 15 unidades; resultados requieren validación en flotas >50 vehículos.
- Duración: 6 meses excluye estacionalidad (lluvias Perú impactan 20% fallas [MTC 2025]).
- Variables no controladas: Mejora conductores (fatiga reducida 15%) puede sesgar atribución a TPM.
- Ausencia estadística inferencial: Diferencias pre/post sin pruebas significancia (t-test, $p < 0.05$).

- La resistencia al cambio: Capacidad de respuesta de los conductores, mecánicos, electricistas y encargados de la empresa frente a los cambios organizacionales y coyunturales.
- Recursos económicos: La disponibilidad de recursos financieros condiciona el tiempo de ejecución del estudio, así como la metodología a emplear y la asignación del personal responsable de la investigación.

B. Investigación Futura

- Ensayo controlado aleatorizado (RCT): 50% flota TPM-ISO vs 50% tradicional (12 meses).
- TPM 4.0: IoT sensores predictivos (reducción MTTR >50%, ref [19]).
- ROI económico: Costo-beneficio (\$/hora parada evitada).
- Escalabilidad: Validación PYMES minería (flotas subterráneas).

CONCLUSIONES

1. La integración del Mantenimiento Productivo Total (TPM) [1] y la norma ISO 45001:2018 [2] demostró ser una estrategia altamente efectiva y sostenible para mejorar la disponibilidad operativa y asegurar la eficiencia de los mantenimientos y la seguridad laboral en una empresa de transporte. Los resultados obtenidos tras el semestre de aplicación evidenciaron una reducción del 40 % en las fallas críticas, especialmente aquellas asociadas a fugas de aceite, lubricación y fallas eléctricas, confirmando la premisa de que la sinergia entre mantenimiento y seguridad genera beneficios superiores a su aplicación aislada [12] [14].
2. Asimismo, la implementación de un sistema digital de control y notificación anticipada contribuyó de manera determinante a la asignación de recursos económicos y a la programación oportuna del mantenimiento preventivo, alcanzando un 95% de cumplimiento del programa establecido. Este avance coincide con estudios que destacan la importancia de la planificación preventiva y la optimización logística para reducir costos y mejorar la confiabilidad en el transporte de carga [16] [17].
3. La gestión documentaria, inicialmente identificada como moderada se evidencio mejoras significativas gracias a la digitalización del 100% de los registros, la definición de plazos de respuesta y la trazabilidad de las intervenciones. Estas acciones se alinean con propuestas de modernización administrativa en PYMES de transporte que resaltan el impacto de la documentación y el control operativo [16].
4. Por otro lado, los procesos de diagnóstico, monitoreo y mejora continúan aplicados mediante el ciclo PHVA demostraron ser esenciales para la mitigación de riesgos mecánicos y humanos. El indicador de resultado directo de esta metodología fue la tasa de accidentes laborales igual a cero (0), lo que valida la utilidad del enfoque sistemático y la reconfirmación de la efectividad de las medidas de control de riesgos (listas de verificación y control de fatiga) para

reducir fallas operativas y fortalecer la resiliencia organizacional [10] [11].

5. La reducción de 17 a 12 horas el tiempo de resolución (TTR) evidenció una mejora significativa en la capacidad de respuesta ante fallas mecánicas y eléctricas de las unidades de transporte, resultado directo de la implementación del mantenimiento preventivo y autónomo, esta disminución del TTR permitió reducir las paradas no programadas y optimizar la programación de las intervenciones técnicas. Como consecuencia directa, se observó un incremento en la disponibilidad operativa de las unidades de transporte, garantizando una mayor continuidad del servicio de 55.7% a 87.5%, una utilización adecuada de los recursos y una mejora en la confiabilidad del sistema de transporte. Estos resultados confirman que la integración del TPM con los requisitos de la norma ISO 45001:2018 contribuye de manera efectiva a mejorar el desempeño operativo y la seguridad, al minimizar los tiempos de inactividad asociados a fallas críticas y fortalecer la gestión proactiva del mantenimiento. [12] Con la implementación del TPM se logró el incremento de la Eficiencia Global de Equipos (OEE) de un 46.32% a un 66.24%. Por consiguiente, el nivel de Disponibilidad incrementó de 72,40% a 81,79% la Efectividad incremento de 73,26% a un 86% y la Calidad tuvo un incremento del 87.58% al 93.83%.
6. Finalmente, aunque la implementación digital desarrollada en este estudio representa un nivel básico, constituye un avance significativo hacia el paradigma de TPM 4.0. El indicador de este avance es la adopción de la digitalización de registros en la nube (100% de la documentación), lo cual establece una base inicial exitosa sobre el cual pueden diseñarse futuras evoluciones hacia un sistema predictivo más avanzado y autónomo. Esta base es crucial, ya que la literatura actual reconoce la ausencia de un marco estandarizado que integre IoT, IA y computación en la nube dentro del mantenimiento [19] [20].
7. La implementación del modelo integrado TPM-ISO 45001 permitió reducir el tiempo promedio de resolución de 16.8 a 16 horas, optimizando la respuesta ante fallas y mejorando la disponibilidad operativa de la flota. Este resultado se alinea con lo reportado por Ashrafi y Asadi [13], quienes destacan que un mantenimiento preventivo bien planificado y bajo esquemas de monitoreo continuo contribuye a minimizar los tiempos de inactividad y a maximizar la confiabilidad de sistemas multicomponentes, reforzando así la importancia de la gestión proactiva en entornos de transporte.

RECONOCIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al jefe operaciones por proporcionar el acceso a la información operativa y documentaria utilizada en el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

- [1] Toyota, «Toyota Material Handling.» 17 julio 2024. [En línea]. Available: <https://blog.toyota-forklifts.es/tpm-total-productive-maintenance-produccion-vs-mantenimiento>. [Último acceso: 29 octubre 2025].
- [2] ISO, «ISO 45001.» ISO, 2018.
- [3] MTC, «gob.pe.» 05 enero 2025. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/5173684-estadisticas-del-fondo-soat-y-cat-2024>. [Último acceso: 13 octubre 2025].
- [4] C. Santos Gonzales, C. Mendoza Ocaña y G. Arqueros Mondocilla, «Mantenimiento productivo total para incrementar la disponibilidad de una flota de buses de una empresa de transporte, Trujillo 2024,» Memorias de la Vigésima Tercera Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI 2024), Vols. %1 de %2978-1-950492-81-7, pp. 82 - 89, 2024.
- [5] A. Marzorati Rodríguez, L. Lopez Zaldivar, M. E. Alcalá Adrianzén y C. E. Santos Gonzales, «“Education, Research and Leadership in Post-pandemic, » 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic, pp. 1 - 8, 18 - 22 Julio 2022.
- [6] P. D. Chatzoglou, A. E. Kotzakolios y P. K. Marhavilas, «Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud (SGSS) y su impacto en la satisfacción y el desempeño de los empleados: un nuevo modelo de SGSS,» Seguridad, pp. 1 - 29, 16 mayo 2025.
- [7] C. Uhrenholdt Madsen, S. Vester Thorsen, P. Hasle, L. Leonhardt Laursen y J. Dyreborg, «Diferencias en los esfuerzos de salud y seguridad ocupacional entre quienes adoptan y quienes no adoptan sistemas certificados de gestión de la salud y seguridad ocupacional,» Ciencia de la seguridad, vol. 152, n° 105794, 2022.
- [8] T.-O. Nævestad, J. Blom y I. S. Hesjevoll, «¿Cómo podemos integrar la seguridad vial en la gestión de la seguridad y salud laboral para salvar vidas más allá de 2025? Un estudio sobre la gestión de la seguridad entre conductores en el trabajo,» Investigación sobre seguridad vial, vol. 9, n° e000104, 2025.
- [9] L. F. da Silva, B. L. Dos Reis, L. D. S. Jesús, G. C. L. Leal y E. V. C. Galdámez, «Identificación de factores relevantes sobre los accidentes laborales en el sector del transporte por carretera y su relación con las muertes en este escenario,» DYNA (Colombia), vol. 90, n° 225, pp. 105 - 110, 2023.
- [10] V. Tsopa, O. Yavorska, S. Cheberiahchko, O. Deryugin y D. Lantukh, «Identificar las unidades empresariales mineras con un nivel significativo de incumplimiento de los requisitos de seguridad laboral tomando como ejemplo una mina de carbón,» Explotación de yacimientos minerales, vol. 19, n° 2, pp. 27 - 37, 2025.
- [11] C. J. Vilchez-Guerrero, G. N. Díaz-Huaina, Y. C. Vázquez Olivera y C. Raymundo-Ibáñez, «Modelo de evaluación de las causas de la fatiga laboral en la minería subterránea mediante el ciclo PDCA,» de 23ª Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología, LACCEI 2025, Virtual, en línea, 2025.
- [12] Y. R. Vázquez-Caycho, K. R. Reyes-Guzmán y M. M. Vega-Caycho, «Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para aumentar la Eficiencia General de los Equipos (OEE) en el sector manufacturero: una revisión sistemática de la literatura,» Aibi, Revista de Investigación Administración e Ingenierías, vol. 13, n° 2, 2025.
- [13] S. Ashrafi y M. Asadi, «Mantenimiento preventivo óptimo de sistemas multicomponentes bajo inspección aleatoria,» Ingeniería de confiabilidad y seguridad de sistemas, vol. 257, n° 110809, 2025.
- [14] V. Contreras-Rios, M. Cortavarria-Cruz, C. León-Chavarri, J. C. Álvarez y R. Lepore, «Optimización de procesos mediante la implementación de SLP, Kanban, Poka-Yoke y TPM para mejorar la eficiencia en una PYME metalúrgica,» Revista Internacional de Tendencias y Tecnología en Ingeniería, vol. 73, n° 6, pp. 269 - 280, 2025.
- [15] R. Gonzales-Vera, K. Rodríguez-Barrientos, P. Castro-Rangel, J. C. Álvarez y R. Lepore, «Modelo de mejora de la OEE en el proceso de producción de cajas de cartón mediante SMED, TPM, automatización e IoT,» Revista Internacional de Ingeniería Mecánica SSRG, vol. 12, n° 6, pp. 34 - 51, 2025.
- [16] J. M. Deza Castillo, O. R. Florian Castillo, A. E. P. Eustaquio, M. M. H. Villanueva y O. D. Florian-Sanchez, «Modelo de gestión de procesos para la administración de una PYME del sector transporte,» de 3ª

- Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Emprendimiento, Innovación y Desarrollo Regional, LEIRD 2023, Virtual, en línea, 2023.
- [17] B. Lidia Arias-Ayala, S. Abigail Carbajal Chávez, E. Williams Ramos-Moreno y L. Alberto Geraldo-Campos, «Gestión logística y costes en empresas de transporte de cargas pesadas,» de 23ª Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología, LACCEI 2025, Virtual, en línea, 2025.
 - [18] Y. Esperme Villagaray, E. Antonio Mariaca Guillén y G. Segundo Miñan Olivos, «Logística inversa para mejorar la eficiencia operativa en una empresa del sector tecnológico, Lima – Perú,» de 23ª Multiconferencia Internacional LACCEI sobre Ingeniería, Educación y Tecnología, LACCEI 2025, Virtual, en línea, 2025.
 - [19] Z. Mouhib, M. Gallab, S. Merzouk, A. Soulhi y M. Di Nardo, «Mantenimiento Productivo Total e Industria 4.0: Una vía basada en la literatura hacia un marco estandarizado propuesto,» Innovación de sistemas aplicada, vol. 8, nº 98, 2025.
 - [20] K. M. De la Torre, “Proposal to increase efficiency in the pizza production line using Lean Manufacturing tools,” en Proc. Int. Conf. Industrial and Business Engineering (ICIBE), 2024. doi: 10.1145/3716097.3716123.