

# Implementation of 5S and TPM as continuous improvement strategies to increase the availability of 777F trucks in the mining sector

Ever Saavedra-Huayhua<sup>1</sup>; Skiff Rojas-Rozas<sup>2</sup>; José Velásquez-Costa, Phd<sup>3</sup>; Herbert Vilchez-Baca, Mg<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Continental, Perú, [47017045@continental.edu.pe](mailto:47017045@continental.edu.pe), [40961011@continental.edu.pe](mailto:40961011@continental.edu.pe),  
[jvelasquezc@continental.edu.pe](mailto:jvelasquezc@continental.edu.pe), [hvilchez@continental.edu.pe](mailto:hvilchez@continental.edu.pe)

**Abstract—** Maintenance management in heavy-duty mining fleets faces significant losses due to unscheduled downtime, variability in repair times, and low work standardization. This study evaluates the effect of a 5S and Total Productive Maintenance (TPM) intervention on the operational availability of Caterpillar 777F trucks in a mining environment, using a pre-experimental before-and-after design. The baseline was established with data from July–December 2024, where the average availability was 87.2%, below the contractual target of 90%. The intervention was implemented during January–June 2025 and included: 5S organization and standardization, periodic audits, visual inspection, routine inspection and cleaning, as well as TPM actions related to autonomous and planned maintenance. After implementation, the average availability increased to 91.1%, representing an absolute increase of 3.9 percentage points, exceeding the contractual threshold. In terms of maintainability, a reduction in MTTR from 6.3 h to 5.1 h was observed, while MTBF showed fluctuating monthly trends, recovering at the end of the semester, consistent with a lower failure frequency. Additionally, disciplinary performance demonstrated substantial improvements through 5S audits (from 18% to 87%). Overall, the findings indicate that the 5S-TPM integration enhances operational continuity and strengthens execution discipline, with potential for replication in comparable mining fleets and contexts.

**Keywords—** 5S, Total Productive Maintenance, Methodology, Mechanical Availability, Mining Trucks.

# Implementación de 5S y TPM como estrategias de mejora continua para incrementar la disponibilidad de camiones 777F en el sector minero

Ever Saavedra-Huayhua<sup>1</sup>; Skiff Rojas-Rozas<sup>2</sup>; José Velásquez-Costa, PhD<sup>3</sup>; Herbert Vilchez-Baca, Mg<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Continental, Perú, 47017045@continental.edu.pe, 40961011@continental.edu.pe,  
jvelasquezc@continental.edu.pe, hvilchez@continental.edu.pe

**Abstract**– *La gestión de mantenimiento en flotas mineras de gran tonelaje enfrenta pérdidas relevantes por paradas no programadas, variabilidad en los tiempos de reparación y baja estandarización del trabajo. Este estudio evalúa el efecto de una intervención basada en 5S y Mantenimiento Productivo Total (TPM) sobre la disponibilidad operativa de camiones Caterpillar 777F en un entorno minero, utilizando un diseño preexperimental antes-después. La línea base se estableció con datos del periodo julio-diciembre de 2024, donde la disponibilidad promedio fue 87.2%, por debajo del objetivo contractual de 90%. La intervención se ejecutó durante el periodo enero-junio de 2025 e incluyó: orden y estandarización del área (5S), auditorías periódicas, control visual, rutinas de inspección y limpieza, así como acciones TPM vinculadas a mantenimiento autónomo y planificado. Tras la implementación, la disponibilidad promedio se elevó a 91.1%, representando un incremento absoluto de 3.9 puntos porcentuales, superando el umbral contractual. En mantenibilidad, se observó una reducción del MTTR de 6.3 h a 5.1 h, mientras que el MTBF presentó una evolución mensual fluctuante, con recuperación al final del semestre, consistente con una menor frecuencia de fallas. Adicionalmente, el desempeño disciplinario evidenció mejoras sustantivas mediante auditorías 5S (de 18% a 87%). En conjunto, los hallazgos indican que la integración 5S-TPM eleva la continuidad operacional y refuerza la disciplina de ejecución, con potencial de réplica en flotas y contextos mineros comparables.*

**Palabras clave**-- 5S, Total Productive Maintenance, Methodology, Mechanical Availability, Mining Trucks.

## I. INTRODUCCIÓN

La competitividad del sector minero depende en gran medida de la eficiencia operativa y de la capacidad para mantener altos niveles de disponibilidad en los equipos pesados utilizados en las distintas etapas productivas, uno de los equipos importantes en el movimiento de tierras son los camiones mineros. La disponibilidad se define como la capacidad de un sistema o equipo para ejecutar una función específica en una proporción de tiempo sin sufrir paradas imprevistas, la disponibilidad mecánica para estos camiones es del 90% establecida por el fabricante [1]. Por otro lado, se tiene una disponibilidad contractual en algunas unidades mineras de 91%, esto quiere decir que el área de mantenimiento se compromete a mantener o tener mayor porcentaje de disponibilidad en estos activos [2]. La unidad minera objeto de estudio tiene un nivel de servicio contractual de 90% en los camiones de acarreo, sin embargo, durante el análisis del estudio se registró un porcentaje menor al objetivo comprometido por el área de mantenimiento. Esta brecha de

disponibilidad no solo es incumplimiento contractual, sino también tiene implicaciones directas en la producción de la unidad minera, generando una gran preocupación para la organización. La baja disponibilidad se traduce en menor horas efectivas de operatividad de la flota, incrementando el riesgo de no llegar al objetivo de la cantidad de toneladas movidas de material por mes para la producción de metales valiosos.

Bajo este escenario, es fundamental aumentar y estabilizar la disponibilidad de los camiones, reduciendo paradas imprevistas y controlando los tiempos fuera de servicio. Para ello, es clave implementar prácticas de gestión de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo basado en condiciones, la planificación optimizada y la capacitación de los operadores. La aplicación sistemática de estas medidas mejora la confiabilidad y mantenibilidad de la flota, reduce el tiempo de inactividad y contribuye a alcanzar de manera sostenida el objetivo del 90%, protegiendo la producción y los resultados económicos.

Las metodologías de mejora continua basadas en Lean Management se han convertido en herramientas esenciales para incrementar la productividad y disponibilidad en activos, ayudando a eliminar desperdicios en operaciones complejas [3]. En este contexto, la metodología 5S es una herramienta fundamental, porque mejora el orden y la limpieza, reduce desperdicios y tiempos improductivos, e incrementa la productividad, siendo la base para la mejora continua en las organizaciones [4]. En el sector minero, su implementación es especialmente relevante para equipos de gran escala, como los camiones 777F, ya que contribuye a disminuir tiempos de búsqueda de herramientas y repuestos, optimizar la gestión de insumos y reducir errores humanos en las actividades de mantenimiento [5]. Un mantenimiento deficiente genera fallas y paradas, mientras que la aplicación de 5S facilita la inspección, limpieza y control, mejorando la disponibilidad de los equipos [6].

Por ello, a pesar de que la adopción de herramientas Lean en minería aún es incipiente, la evidencia reciente muestra que estas metodologías pueden mejorar significativamente el desempeño operativo, reducir desperdicios y estabilizar los procesos en proyectos mineros. Por ejemplo, un estudio de caso en una faena subterránea demostró que la implementación de prácticas Lean resultó en una mejora estadísticamente significativa de todos los indicadores analizados (planificación, cumplimiento, tiempos muertos), así como en una reducción de la variabilidad de los procesos, lo que sugiere operaciones más

estables y predecibles [7]. De manera similar, investigaciones aplicadas en la industria manufacturera muestran que la adopción de 5S reduce significativamente tiempos de operación, retrabajos y movimientos innecesarios, elevando la eficiencia global del sistema productivo [8].

II. ESTADO DEL ARTE

Diversos estudios internacionales han reportado que la implementación de herramientas Lean, como 5S y TPM, contribuye a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. El estudio *An investigation into lean production practice in mining* analiza la adopción de prácticas Lean en el sector minero y concluye que, aunque estas metodologías pueden aplicarse, requieren adaptaciones significativas debido a la naturaleza variable, dispersa y altamente dinámica de las operaciones mineras. Esto evidencia las limitaciones de transferir directamente técnicas de manufactura a la minería, pero también destaca su potencial de mejora cuando se contextualizan adecuadamente [9].

Más recientemente, se han documentado casos de implementación práctica de metodologías Lean en empresas mineras que evidencian resultados concretos. Un ejemplo es el estudio *Application of Lean Manufacturing to increase operational excellence: A case study in a company in the mining*, en el que los autores aplican esta herramienta para mejorar la disponibilidad física en la flota de tractores oruga del área de infraestructura. Los resultados reportaron mejoras en la disponibilidad de equipos, lo que demuestra que las técnicas Lean pueden tener impacto real en activos de minería [10].

En la industria automotriz la aplicación de TPM y 5S contribuye a recuperar áreas operativas, reducir riesgos de las diferentes actividades y fortalecer la disciplina operacional, esto fue demostrado en el caso de estudio de implementación de TPM respaldado por la 5S, la estandarización y gestión visual facilitaron la detección de fallas, mientras que la capacitación fortaleció las competencias del personal. En conjunto, estas acciones incrementaron la disponibilidad, evidenciando una mejora continua del sistema productivo. [11].

A. Metodología 5S

Se aplico la metodología 5S como una herramienta de mejora continua desarrollada en Japón, esta metodología originaria del sistema de producción japonés y asociada a los principios de Lean manufacturing, se ha definido como un enfoque sistemático destinado a organizar y mantener el lugar de trabajo mediante cinco principios: clasificar (Seiri), ordenar (Seiton), limpiar (Seiso), estandarizar (Seiketsu) y sostener/disciplina (Shitsuke). Este conjunto de prácticas busca crear un entorno de trabajo ordenado, limpio y estandarizado, reduciendo desperdicios, facilitando la visualización de problemas y promoviendo la eficiencia del flujo de trabajo. En

consecuencia, 5S constituye la base para la creación de un “visual workplace”, donde los procesos se desarrollan con menos interrupciones, tiempos perdidos y errores [12].

No obstante, aunque 5S ha demostrado su eficacia en industrias manufactureras, talleres, almacenes e incluso en salud o servicios, la mayoría de los estudios documentados se quedan en el ámbito del orden, limpieza y eficiencia en entornos de escala mediana o pequeña. La literatura revela una carencia de estudios que apliquen 5S en contextos altamente exigentes o variables como la minería o mantenimiento de maquinaria pesada, un vacío que limita la generalización de los resultados y resalta la necesidad de investigaciones empíricas específicas en tales contextos. En consecuencia, tras la implementación de 5S en el sector minería se espera, incrementar la disponibilidad de equipos pesados y por ende la mejora de los procesos [13].

B. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM se define como una filosofía integral de gestión del mantenimiento orientada a mantener y mejorar continuamente la eficiencia operativa mediante la participación de todos los niveles de la organización. Incluye las estrategias de mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado, con el fin de reducir fallas, paradas no programadas, defectos y desperdicios, garantizando así una operación fluida y confiable del equipamiento. Además, promueve la estandarización de rutinas básicas de inspección, limpieza y lubricación para prevenir el deterioro acelerado de los activos [14].

III. METODOLOGÍA

La metodología de implementación se desarrolló aplicando, en primer lugar, las 5S y posteriormente el TPM, ejecutando de manera estructurada cada una de las “S” y dos pilares del TPM, estos pilares son mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado durante un periodo de 6 meses. Se empleó un diseño cuantitativo preexperimental antes-después. La unidad de análisis fue la flota de 10 camiones 777F, con mediciones mensuales de indicadores de mantenimiento. Se compararon dos periodos: julio-diciembre 2024 (preintervención) y enero-junio 2025 (postintervención).

Los resultados obtenidos del análisis del periodo preintervencion se presentan en las tablas siguientes.

TABLA I  
DISPONIBILIDAD DE CAMIONES

| Ítem | Mes | Disponibilidad (%) |
|------|-----|--------------------|
| 1    | Jul | 86.9               |
| 2    | Ago | 87.1               |
| 3    | Sep | 87.2               |
| 4    | Oct | 87.1               |
| 5    | Nov | 87.2               |
| 6    | Dic | 87.7               |

De la tabla 1, se tiene un promedio línea base Jul–Dic 2024: 87.2%

TABLA II  
INDICADORES DE MTBF Y MTTR

| Ítem | Mes  | MTBF | MTTR |
|------|------|------|------|
| 1    | Jul  | 53.1 | 8.0  |
| 2    | Agos | 52.3 | 7.7  |
| 3    | Sept | 51.2 | 7.6  |
| 4    | Oct  | 54.7 | 8.1  |
| 5    | Nov  | 52.7 | 7.7  |
| 6    | Dic  | 54.3 | 7.6  |

La tabla 2, muestra los indicadores de MTBF y MTTR en los periodos Jul–Dic 2024

La disponibilidad mecánica se calcula entre el MTBF (tiempo medio entre fallos) y el MTTR (tiempo medio para reparar) [15]. onde el tiempo de parada incluyó eventos de mantenimiento correctivos por fallas, todos registrados en ERP (SAP). Se excluyeron paradas no atribuibles al equipo como mala operación de los camiones. El MTTR se estimó como el promedio del tiempo de reparación por evento correctivo, y el MTBF como el promedio del tiempo de operación entre fallas correctivas consecutivas.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

Para la implementación de las 5S y TPM también se estableció un plan de trabajo que inicio con acciones de sensibilización a los trabajadores y tomadores de decisiones, sobre la importancia de la implementación de las 5S y TPM en el sector minero, dado que la adopción de TPM apoyada en herramientas de manufactura “lean” como 5S mejora el desempeño de los equipos y la eficiencia operativa, solo si existe un compromiso real del personal y también si este personal reciben la formación adecuada y tienen una participación activa en el mantenimiento autónomo y mejora continua. Como resultado se obtendrá un incremento de disponibilidad de los equipos, reducción de tiempos de paro y crecimiento del rendimiento general del equipo de trabajo [16].

#### Fase 1. Diagnóstico situacional:

En esta parte del diagnóstico situacional se delimita el problema que origina la baja disponibilidad en los camiones 777F, interpretando que la baja disponibilidad no es un evento, sino es la suma de múltiples causas que se interrelacionan entre sí (técnicos, humanos y de gestión). En consecuencia, esta fase no solo busca enumerar fallas, sino que también prioriza las causas que provocan el mayor impacto del problema, para luego orientar la intervención de las herramientas de las 5S y TPM.

A continuación, se observan dos tablas que detallan las causas del problema de la baja disponibilidad de camiones.

TABLA III  
CAUSAS PRINCIPALES Y ESPECÍFICAS DEL PROBLEMA

| Item | Causas principales                          | Causa específica                                                                                                                      |
|------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Tiempos improductivos de los equipos        | Paradas continuas por falla en sistemas del equipo<br>Equipos discontinuados / antiguos                                               |
| 2    | Extensión de los mantenimientos programados | Herramientas y equipos de mantenimiento defectuosos<br>Mala planificación de mantenimientos<br>Desorden en el taller de mantenimiento |
| 3    | Mala operación de los equipos               | Operadores nuevos / poca experiencia<br>Vías de tránsito mal diseñadas                                                                |
| 4    | Otros                                       | Personal técnico desmotivado                                                                                                          |

TABLA IV  
PARETO DE LAS CAUSAS ESPECÍFICAS

| Item | Causa específica                                    | Total/ Puntuación | Peso relativo (%) | Peso Acumulado (%) | 80-20% |
|------|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------|
| 1    | Paradas continuas por falla en sistemas del equipo  | 35                | 17%               | 17.2%              | Sí     |
| 2    | Operadores nuevos / poca experiencia                | 33                | 16%               | 33.3%              | Si     |
| 3    | Desorden en el taller de mantenimiento              | 33                | 16%               | 49.5%              | Sí     |
| 4    | Mala planificación de mantenimientos                | 33                | 16%               | 65.7%              | Sí     |
| 5    | Herramientas y equipos de mantenimiento defectuosos | 29                | 14%               | 79.9%              | Sí     |
| 6    | Vías de tránsito mal diseñadas                      | 14                | 7%                | 86.8%              | No     |
| 7    | Personal técnico desmotivado                        | 14                | 7%                | 93.6%              | No     |
| 8    | Equipos discontinuados / antiguos                   | 13                | 6%                | 100.0%             | No     |

Las tablas presentan un análisis tipo Pareto (80/20), donde las causas específicas reciben una puntuación total, luego se les asigna un peso relativo y un peso acumulado que permite distinguir las causas que concentran la mayor proporción del problema. Es así, las primeras cinco causas son marcadas como “Sí” en la columna 80–20% y acumulan aproximadamente 79.9% del peso total. Por eso, es viable la intervención de las 5S para estabilizar las condiciones de trabajo, hacer visibles las anomalías, estandarizar y sostener la disciplina operativa y a través del TPM se orienta a fortalecer el mantenimiento autónomo y el mantenimiento planificado.

La utilización del diagrama de Pareto es una gran herramienta de mejora continua que permite priorizar las intervenciones al mostrar que un número reducido de causas concentra la mayor proporción del impacto (80/20) [17].

#### *Fase 2. Planificación y conformación del Comité 5S-TPM*

Para que la implementación de 5S y TPM produzca resultados sostenibles, fue fundamental contar con una estructura organizativa clara y permanente a través de un comité 5S-TPM, que articule liderazgo, participación del personal, capacitación y seguimiento, ya que el compromiso de la alta dirección, la cultura organizacional, la participación de los empleados, la comunicación efectiva y la gestión apropiada del entorno laboral son clave para que TPM logre sus objetivos operativos, de mantenimiento y sostenibilidad [18].

Se constituyó el comité de mejora continua 5S-TPM, conformado por:

- Coordinador general (Superintendente de mantenimiento).
- Representante de operaciones (Superintendente de mina).
- Supervisor de mantenimiento.
- Supervisor de seguridad y salud ocupacional.
- Auditor 5S (rotativo).

El comité elaboró el plan maestro de implementación, definiendo responsables, cronogramas de actividades, recursos requeridos y métricas de control.

#### *Fase 3. Capacitación y sensibilización del personal*

Se desarrolló sesiones de capacitación orientadas a reforzar la cultura de orden, limpieza y mantenimiento autónomo.

El contenido incluyó:

- Principios de las 5S adaptados a la minería.
- Fundamentos del TPM, con énfasis en mantenimiento autónomo y planificado.
- Procedimientos de inspección visual y seguridad eléctrica.
- Uso de señalización, rótulos, colores y tableros visuales 5S.

El objetivo fue lograr la participación del personal técnico y operativo, fomentando la responsabilidad compartida sobre los equipos e instalaciones.

#### *Fase 4. Ejecución del programa 5S y TPM*

La implementación combinó acciones de ambas metodologías:

#### *A) Aplicación de las 5S*

Seiri (Clasificar): Se clasificaron e identificaron equipos y herramientas del área temporal designada para las bandejas, tales como; bombas de succión de aceite residual en desuso, bombas manuales de lubricación, equipo dializador de aceite, productos químicos como disolventes y limpiadores de grasa, así como también baldes de aceite contaminados, los cuales fueron identificados mediante tarjetas rojas. Posterior a la clasificación las herramientas y equipos innecesarios detectados se llevaron a una zona de segregación, generando así un espacio más seguro. Es así como la zona de bandejas y depósitos tiene una mejor organización.



Fig. 1 Evidencia del área de bandejas antes de la implementación de la metodología 5S



Fig. 2 Evidencia del área de bandejas después de la implementación de la metodología 5S

Seiton (Ordenar): Se ubicó cada elemento en un lugar definido con identificación visual y codificación. Se organizaron las herramientas manuales como llaves mixtas, dados cromados y de impacto, palancas manuales, trinquetes, alicates, llaves de golpe y arcos de sierra en el panel de herramientas. Por otro lado, se ordenaron de acuerdo con su frecuencia de uso a las

bombas electrohidráulicas, pistón hidráulico de doble efecto, pistolas eléctricas, multímetros, maleta de evaluación de motores y de presión hidráulica, extractor de cojinetes y teclas utilizados para los trabajos de mantenimiento, este orden de herramientas ayudará a reducir tiempos en la búsqueda de herramientas.



Fig. 3 Evidencia del panel de herramientas antes de la implementación de la metodología 5S



Fig. 4 Evidencia del panel de herramientas después de la implementación de la metodología 5S

**Seiso (Limpiar):** Se estableció realizar una rutina de limpieza en el taller, en oficinas y áreas utilizadas por los técnicos. Es así que se cuenta con un cronograma de limpieza de dichas áreas, en el taller de mantenimiento se realiza limpieza de tierra o polvo todos los días y cada tres días se realiza el lavado con agua a presión, las oficinas y áreas de técnicos se realiza limpieza todos los días por una empresa contratista, este formato contempla la limpieza de taller, orden de equipos y herramientas en taller y la limpieza de las zanjas de sedimentos.



Fig. 5 Evidencia de limpieza y señalización del taller antes de la implementación de la metodología 5S



Fig. 6 Evidencia de limpieza y señalización del taller después de la implementación de la metodología 5S

**Seiketsu (Estandarizar):** Se implementaron listas de verificación de limpieza del taller de mantenimiento, oficinas y área de del personal técnico, el control de la limpieza lo realiza el técnico líder de manera diaria, por otro lado, se implementó una lista de comprobación de herramientas y equipos para un control mensual, para detectar alguna anomalía en estos, si hubiese alguna observación se comunica al supervisor para coordinar su mantenimiento, reparación y/o reemplazo. De manera diaria el supervisor inspecciona el tablero de herramientas y demás equipos para asegurarse que se encuentre en su ubicación correcta. Finalmente se crearon procedimientos visuales y accesibles mediante la tecnología, una muestra de esto son los procedimientos de trabajo (PETS) y estándares del área de mantenimiento que están en la nube y se accede a ellos mediante un QR.



Fig. 7 Evidencia de procedimiento de trabajos (PETS) antes de la implementación de la metodología 5S



Fig. 8 Evidencia de procedimiento de trabajos (PETS) después de la implementación de la metodología 5S

**Shitsuke (Disciplina):** Se programan auditorías de manera semanal, para revisar los cumplimientos de la aplicación de las 5S, estas auditorías son visitas de manera inopinada del comité 5S-TPM en cualquier día de la semana, buscando crear un hábito en todo el personal involucrado, una vez realizada la auditoría se hace llegar el informe de los hallazgos y

observaciones, los plazos para atenderlas y también la retroalimentación respectiva.

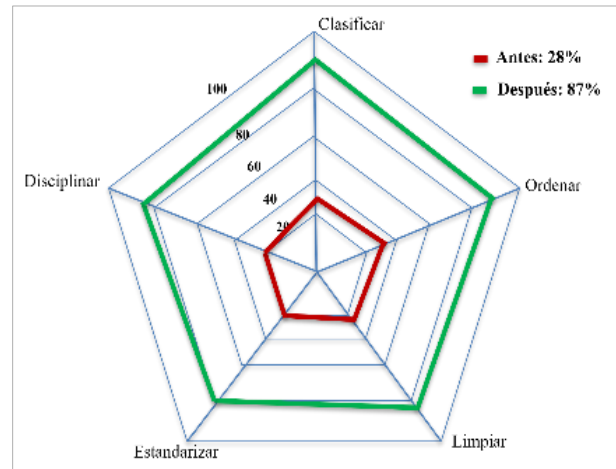


Fig. 9 Radar de implementación de 5S

En la imagen se muestra el radar de las 5S, se observa un porcentaje de 18% antes de la implementación del estudio y un 87% después del estudio.

### B) Aplicación del TPM

**Mantenimiento autónomo:** Se oriento a los operadores a ejecutar rutinas básicas de limpieza e inspección en los camiones, con la finalidad de detectar anomalías de manera temprana y disminuir fallas imprevistas. Para ello, se capacitó a los operadores en la correcta operación, realizar rutinas diarias de limpieza e inspección y verificaciones de condiciones (fugas, ruidos, niveles y temperaturas) bajo ciertos criterios de mantenimiento, estas rutinas se concretaron mediante check list y bitácora de registro como evidencia del cumplimiento y estado de condición del equipo. Las observaciones registradas se suben a un reporte estructurado del área de mantenimiento en el ERP (SAP), de esta manera se programan la intervención los equipos antes de sufrir una avería. Por otro lado, se capacitó al personal técnico del área de mantenimiento, en el funcionamiento de los sistemas de los camiones y el uso de herramientas de diagnóstico; así los técnicos realizarán la inspección, evaluación y correctivos necesarios para levantar las observaciones registradas inicialmente por los operadores.



Fig. 10 Evidencia de la capacitación del personal operativo.

Mantenimiento planificado: Este pilar se incorpora como parte de la solución de reducir las fallas en los camiones, transformando la gestión del mantenimiento en un proceso medible y predecible. La intervención se centró en un plan maestro por conteo de horas en todos los sistemas críticos del camión, complementado con actividades de mantenimiento por condición. Es así como, se realizan evaluaciones periódicas cada dos meses a los sistemas críticos del camión estos son; motor, transmisión, frenos y sistema de implementos, aquí se registran parámetros específicos estipulados en un formato de evaluación, estos son; presiones hidráulicas, temperaturas, velocidades, espesor de material y flujos del fluido hidráulico. Por otro lado, se toman muestras de aceite en los mantenimientos o de manera puntual de los sistemas, estas muestras se envían a un análisis en un laboratorio de aceites, los resultados se analizan para ver si existe un desgaste en los sistemas del camión y también a tomar decisiones de intervenir el sistema observado previniendo fallas imprevistas. También se ejecuta un plan de inspección visual de los sistemas del camión llamadas inspecciones pre-PM (125 horas antes de su mantenimiento), aquí se busca detectar fugas de fluidos, mangueras resacas, cables eléctricos resacos o rotos, correcta lubricación de pines y bocinas y funcionamiento del aire acondicionado; las observaciones encontradas se registran por el personal técnico en el formato de inspecciones estructurado, se detalla cada observación adjuntándose fotografías para mayor evidencia, posterior a ello se genera el backlog respectivo de las observaciones, esta información se envía al planer para que sea subida al ERP (SAP). Finalmente, el supervisor o superintendente de mantenimiento lidera una reunión semanal del control y planificación de la gestión de mantenimiento, se revisan los KPIs de mantenimiento (Disponibilidad, MTTR, MTBF, cumplimiento de ordenes de trabajo, precisión de ejecución de los mantenimientos, generación de backlog) con el fin de ajustar recursos y ventanas de intervención, permitiendo ajustar el plan en función del desempeño real. La presentación y el seguimiento de los indicadores se realizan mediante la plataforma digital Power BI.



Fig. 11 Personal técnico realizando ajustes en la transmisión del camión.

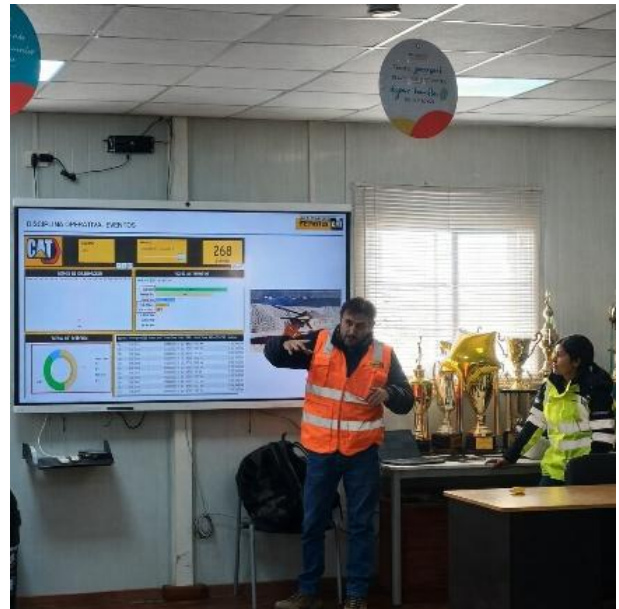


Fig. 12 Supervisor presentando indicadores de KPIs en la reunión semanal.

#### Fase 5. Evaluación y mejora continua

Se realiza una evaluación periódica mediante auditorías 5S y seguimiento de indicadores TPM.

Los principales indicadores serán:

- Incremento y sostenimiento del porcentaje de la disponibilidad de los equipos.
- Cumplimiento de los KPIs del área de mantenimiento.
- Mejora del puntaje de auditorías 5S.

Esta metodología se sustenta en un modelo de gestión, que integra 5S y TPM como herramientas complementarias para mejorar la efectividad del mantenimiento y la eficiencia operativa de los equipos [19].

Parte de la mejora continua se ha dispuesto el análisis de información de los camiones 777F, la información analizada proviene de las diferentes computadoras instaladas en los sistemas del camión, estas almacenan datos vitales que posteriormente son analizados y presentados al área operativa, en las imágenes siguientes se puede observar el análisis de dicha información.

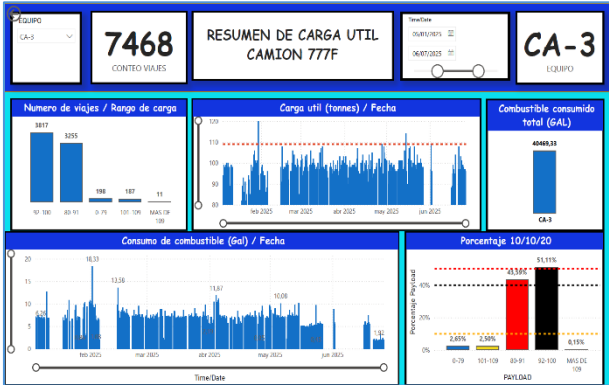


Fig. 13 Presentación de Power bi del análisis de carga de vida útil de un camion 777F

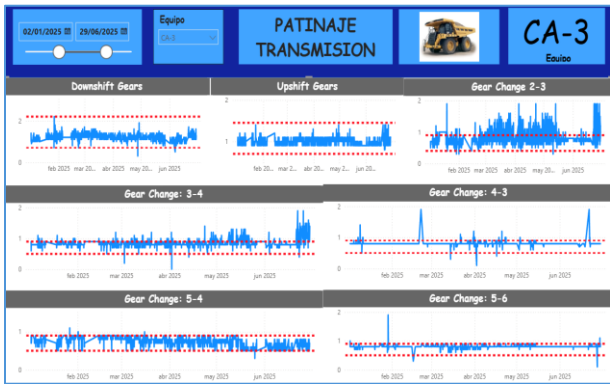


Fig. 14 Presentación de Power bi del análisis del patinaje de la transmisión de un camion 777F

Desde la perspectiva de la gestión de mantenimiento y gestión de activos, las mejoras en la disponibilidad de los camiones se traducen directamente en una reducción de horas improductivas y, por lo tanto, en un impacto económico medible. En sistemas de producción mineros de alto valor, cada hora de indisponibilidad de un equipo de acarreo representa una pérdida asociada a costos operativos no recuperables y a una pérdida de capacidad productiva del sistema. Bajo este principio, el impacto económico de la intervención se estimó a partir de la reducción de horas de indisponibilidad derivada del incremento de la disponibilidad promedio observado después de la implementación de 5S y TPM.

TABLA V  
CAUSAS PRINCIPALES Y ESPECIFICAS DEL PROBLEMA

| Item | Descripción                                        | Datos        |
|------|----------------------------------------------------|--------------|
| 1    | Disponibilidad promedio antes de la intervención   | 87.20%       |
| 2    | Disponibilidad promedio después de la intervención | 91.10%       |
| 3    | Incremento de disponibilidad                       | 3.90%        |
| 4    | Horas programadas por día en mina                  | 22 h/día     |
| 5    | Días analizados en 6 meses                         | 180 días     |
| 6    | Horas programadas por camión en los 6 meses        | 3960 h       |
| 7    | Horas de indisponibilidad evitadas                 | 154.44 h     |
| 9    | Costo operativo por camion                         | 180 USD/hora |
| 10   | Ahorro por camión                                  | 27799 USD    |
| 11   | Número de camiones                                 | 10 unidades  |
| 12   | Ahorro total del periodo                           | 277992 USD   |

#### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos entre enero y junio de 2025 reflejan una mejora continua en la disponibilidad de los camiones mineros, alcanzando un 91.80% en junio, este valor está por encima del objetivo que es el 91%. Esta mejora se debe a la implementación efectiva de la metodología 5S y los pilares del TPM.

En los primeros seis meses de 2025 post implementación, se observa un aumento constante en la disponibilidad de los camiones, este crecimiento progresivo va desde el 90.2% en enero alcanzando un valor mayor del 91.80% en junio, la disponibilidad promedio de los seis meses es 91.1%.

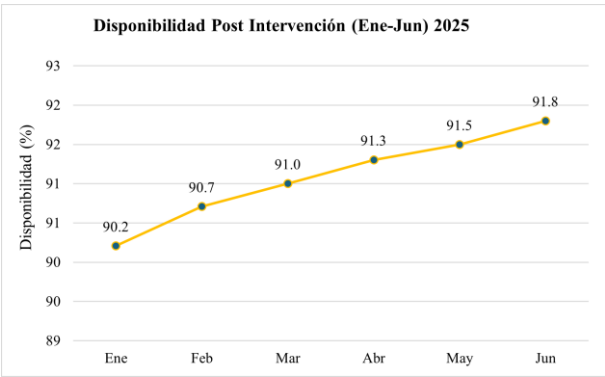


Fig. 15 Disponibilidad posterior a la implementación.

El comportamiento del MTBF (Tiempo medio entre fallas) de los camiones mostró una tendencia fluctuante durante los primeros seis meses post implementación, con un valor más alto registrado en enero con 58.3 horas, y un descenso en febrero y

abril, alcanzando el valor más bajo de 52.7 horas. Sin embargo, a partir de mayo, el MTBF comenzó a mejorar nuevamente, alcanzando 57.2 horas en junio, lo que indica que las fallas se hacen menos frecuentes, mientras madura la gestión de mantenimiento.

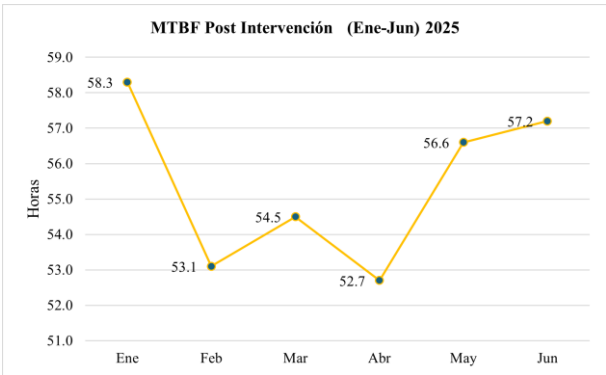


Fig. 16 MTBF mensual posterior a la implementación.

El MTTR (Tiempo medio de reparación) experimentó una mejora notable durante el periodo de enero a junio, disminuyendo de 6.3 horas en enero a 5.1 horas en junio, lo que refleja una optimización en los procesos de reparación de fallas.

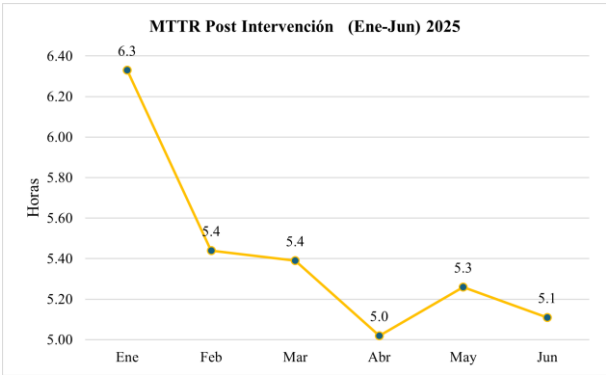


Fig. 17 MTTR mensual posterior a la implementación.

El incremento de disponibilidad de 87.2% a 91.1% permitió recuperar 154.44 horas de operación por camión durante el periodo de seis meses. Considerando el costo operativo de USD 180 por hora de indisponibilidad representa un ahorro de 27 799 USD por camión y un aproximadamente 277 000 USD para la flota completa de los 10 camiones.

### V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados evidencian un aumento de disponibilidad de +3.9 puntos porcentuales y una reducción del MTTR de -1.22 h, consistente con el rol de 5S en disminuir tiempos improductivos asociados a búsqueda de herramientas, condiciones del puesto y estandarización visual, y con el rol de TPM en fortalecer inspecciones, disciplina preventiva y respuesta ante fallas. En comparación con estudios previos

donde la integración 5S–TPM se asocia a incrementos de disponibilidad en contextos industriales, el presente trabajo extiende evidencia hacia flotas mineras de alto tonelaje.

- La aplicación de las 5S seguida del TPM, se interpreta como un efecto habilitador del orden y la estandarización sobre la gestión del mantenimiento. En la práctica, la clasificación o segregación más el orden visual de las herramientas reducen tiempos improductivos relacionados a búsquedas y desplazamientos innecesarios, esto conecta con la idea central de las 5S, que sirve como mecanismo para mejorar la organización de inventarios y los puestos del trabajo, elevando la productividad del personal [20].

- En conjunto las 5S funciona como habilitador operativo y TPM fortalece la gestión del mantenimiento para reducir paradas innecesarias de los equipos. Así, la intervención impacta simultáneamente en la disponibilidad, la mantenibilidad (MTTR) y de forma gradual, en confiabilidad (MTBF).

### VI. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos de la aplicación integrada de las metodologías 5S y TPM demostraron un aumento en la disponibilidad mecánica de los camiones mineros partiendo de una línea promedio base del 87.2% (jul-dic 2024) al promedio de 91.1% en los periodos (ene-jun 2025), superando así el objetivo contractual del 90% del área de mantenimiento. Este aumento de porcentaje de disponibilidad indica una mejora en la continuidad operacional de los camiones mineros. Los resultados también muestran un incremento considerable del radar de las 5S desde un puntaje de 18% a 87%, mostrando la importancia de implementación de esta herramienta.

- El rendimiento de MTBF es fluctuante en los meses después de la intervención mostrados en los resultados de enero a junio del 2025, esto refiere a que la gestión de mantenimiento está en un proceso de acomodación, es importante mencionar que el valor del MTBF de 57.2 horas en junio de 2025 es una muestra de recuperación de la confiabilidad del mantenimiento. Esta mejora está asociada con la implementación de mantenimiento planificado y el fortalecimiento del mantenimiento autónomo, que incluyen la anticipación de fallas y la estandarización de rutinas de inspección. El aumento en MTBF refuerza la idea de que TPM es efectivo al reducir las fallas visibles y, sobre todo, abordar la causa raíz de los problemas, aumentando así la disponibilidad del activo.

- La reducción progresiva de MTTR, de 6.3 horas en enero a 5.1 horas en junio de 2025, representa una mejora del 19.3 % ciento en el tiempo de reparación y se debe en gran medida a la aplicación de las 5S en el taller de mantenimiento. El establecimiento de un orden, un proceso de estandarización de herramientas y digitalización de procedimientos, que lograron

reducir los tiempos improductivos, relacionados con la búsqueda de recursos. Este resultado expresa que las 5S no deben ser consideradas únicamente como un criterio de orden y limpieza, sino como un facilitador clave para la eficiencia técnica del mantenimiento.

- Desde el ámbito económico y organizacional, la mejora de la disponibilidad mecánica contribuyó a un ahorro estimado de 277 000 USD en costos operativos de los camiones, ya que al incrementar la disponibilidad se incrementa la cantidad movida del material del proceso de obtención de minerales valiosos. De esta manera, la formación del comité 5S-TPM, el seguimiento de KPI y las auditorías periódicas han fortalecido la cultura de disciplina operativa y de mejora continua. Estos resultados muestran, en general, que la sostenibilidad de los resultados no depende únicamente de los métodos utilizados, sino también del compromiso activo de la alta dirección y del personal operativo y técnico.

#### REFERENCIAS

- [1] A. F. S. Silva, E. C. S. Santos, R. M. do N. Luz, and R. da S. Fernandes, "Analysis of preventive maintenance strategy in off-road trucks," *Gestão & Produção*, vol. 30, p. e5923, 2023. DOI: [10.1590/1806-9649-2023v30e5923](https://doi.org/10.1590/1806-9649-2023v30e5923)
- [2] A. P. Baldeón-Pacheco, N. de la Cruz-Escobar, J. Velásquez-Costa, and H. Vilchez-Baca, "Análisis del mantenimiento preventivo en los camiones mineros 980 E-5 y su relación con la disponibilidad mecánica," in *Proc. 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI)*, San José, Costa Rica, 2024. DOI: [10.18687/LACCEI2024.1.1.1258](https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1258)
- [3] A. Seifullina, A. Er, S. P. Nadeem, J. A. Garza-Reyes, and V. Kumar, "A lean implementation framework for the mining industry," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1149–1154, 2018. DOI: [10.1016/j.ifacol.2018.08.435](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.435)
- [4] J. Velásquez-Costa, "Impacto de la metodología 5S en la optimización de recursos en empresas metalmeccánicas," en 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2022), Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.594>
- [5] J. Vera-Bobadilla, F. Apolinario-Caro, N. Pineda-Romero, J. Velásquez-Costa, and H. Vilchez-Baca, "Implementation of the 5S Methodology to Improve Efficiency in a Pastry Microenterprise San Ramon – Chanchamayo," in *Proceedings of the 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2024)*, Barcelona, Spain, Avestia Publishing, 2024, Paper ICMIE 158, pp. xx–xx, doi: 10.11159/icmie24.158. Available: <https://doi.org/10.11159/icmie24.158>
- [6] M. Cabanillas-Tafur, D. Palomino-Muñoz, J. Velásquez-Costa y H. Vilchez-Baca, "Modelo para mejorar el proceso de producción de concentrado de cobre en una mina en Panamá," en *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2024)*, San José, Costa Rica, jul. 2024. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1197>
- [7] J. Löföw, "An investigation into lean production practice in mining," *International Journal of Lean Six Sigma*, no. 1, pp. 123–142, 2019. DOI: [10.1108/IJLSS-07-2017-0085](https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2017-0085)
- [8] M. M. Shahriar, "Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 8, p. 100488, 2022. DOI: [10.1016/j.clet.2022.100488](https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488)
- [9] L. F. Alarcón, C. Baladrón, P. Gahona, and D. Long, "Lean methodologies and productivity in mining development A case in a public company," *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 38, pp. 66–82, 2023. <https://doi.org/10.7764/RIC.00085.21>
- [10] M. G. U. Oliveira, J. S. Marcossi, and N. F. Santos Pereira, "Application of lean manufacturing to increase operational excellence: A case study in a company in the mining," *Research, Society and Development*, vol. 12, no. 14, p. e115121444695, 2023. DOI: [10.33448/rsd-v12i14.44695](https://doi.org/10.33448/rsd-v12i14.44695)
- [11] I. M. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, "Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 1574–1581, 2019. DOI: [10.1016/j.promfg.2020.01.128](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.128)
- [12] M. Mazur, M. Korenko, M. Žitňák, T. Shchur, P. Kielbasa, P. Dostál, O. Dzhidzhora, and A. Idzikowski, "Implementation and benefits of the 5S method in improving workplace organisation—A case study," *Management Systems in Production Engineering*, vol. 32, no. 4, pp. 498–507, 2024. DOI: [10.2478/mspe-2024-0047](https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0047)
- [13] J. R. Correa Castañeda and G. A. Montoya Cárdenas, "5S methodology: Literature review and implementation analysis," *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, vol. 3, no. 2, pp. 37–45, 2022. DOI: [10.47422/jstri.v3i2.30](https://doi.org/10.47422/jstri.v3i2.30)
- [14] M. M. Saxena, "Total productive maintenance (TPM) as a vital function in manufacturing systems," *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 2022. DOI: [10.4995/jarte.2022.15934](https://doi.org/10.4995/jarte.2022.15934)
- [15] C. M. Gallegos Londoño, M. A. Viscaino Cuzco, and S. R. Sergio Raúl, "Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos prime," *Conciencia Digital*, vol. 3, no. 3, pp. 44–61, 2020. DOI: [10.33262/concienciadigital.v3i3.1266](https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1266)
- [16] A. Hallioui, B. Herrou, P. F. Katina, R. S. Santos, O. Egbue, M. Jasiulewicz-Kaczmarek, J. M. Soares, and P. C. Marques, "A review of sustainable total productive maintenance (STPM)," *Sustainability*, vol. 15, no. 16, p. 12362, 2023. DOI: [10.3390/su151612362](https://doi.org/10.3390/su151612362)
- [17] M. Alkiayat, "A practical guide to creating a Pareto chart as a quality improvement tool," *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, vol. 4, no. 2, pp. 83–84, 2021. DOI: [10.36401/JQSH-21-X1](https://doi.org/10.36401/JQSH-21-X1)
- [18] A. Samadhiya, R. Agraway, and J. A. Garza Reyes, "Investigating the influence of Total Productive Maintenance key success factors on the social sustainability dimension of manufacturing SMEs," *Benchmarking: An International Journal*, 2023. DOI: [10.1108/BIJ-05-2022-0287](https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2022-0287)
- [19] J. C. Osco, M. C. Ricce, O. Yildiz, D. A. Ipinçe, and J. C. Alvarez, "Operations management model based on 5S, TPM, and SMED to increase the effectiveness of equipment in a plastics company," in *Proc. 9th Int. Conf. on Innovation and Trends in Engineering (CONIITI 2023)*, IEEE, pp. 1–6, 2023. DOI: [10.1109/CONIITI61170.2023.10324211](https://doi.org/10.1109/CONIITI61170.2023.10324211)
- [20] W. Elsayed, R. Elshaer, and E. Nasr, "Improving inventory and workplace organization through 5S methodology in industrial environments," *Energies*, vol. 10, no. 10, p. 1653, 2017. DOI: [10.3390/en10101653](https://doi.org/10.3390/en10101653)