

# OPTIMIZACIÓN DE PARADAS QUE INVOLUCRAN MANIOBRAS DE REMOLQUE EN TRACTORES DE ORUGAS CON TOWHAUL USANDO LEAN SIX SIGMA EN LA INDUSTRIA MINERA

Jean Pierre Castro Beltran  
Supervisor Senior de Mantenimiento Tractores de Orugas – Cerrejón  
Email: [jean.p.castro@cerrejon.com](mailto:jean.p.castro@cerrejon.com)  
Albania La Guajira. – Colombia

## Resumen

Este proyecto evalúa la implementación del camión TowHaul para el remolque de tractores de orugas Caterpillar D11T, D10T y D09T, con el objetivo de optimizar los procesos de producción y mantenimiento en Cerrejón. A través de la aplicación de la metodología Lean Six Sigma, utilizando las herramientas DMAIC y Value Stream Mapping (VSM), se lograron reducir los desperdicios y la variabilidad en el proceso. Estas mejoras contribuyeron a disminuir los tiempos de traslado, incrementar la productividad y alcanzar importantes ahorros económicos, al tiempo que se fortaleció la seguridad operativa.

## Introducción

En la industria minera, la eficiencia en el mantenimiento de equipos pesados es un factor crítico para garantizar la disponibilidad operativa y la reducción de costos. En este contexto, se ha identificado que los procesos de traslado de los tractores de orugas Caterpillar D11T, D10T y D09T presentan oportunidades significativas de mejora. La metodología Lean Six Sigma ha sido aplicada con el objetivo de optimizar estos procesos mediante la eliminación de desperdicios y la mejora continua.

El estudio se centró en la evaluación de diversos procesos de mantenimiento, donde se mapearon dos procesos clave: paradas programadas y paradas imprevistas con remolque de equipo. A través de la metodología DMAIC y el uso del Value Stream Mapping (VSM), se identificaron cuellos de botella en los procesos principales [2]. La mayor oportunidad de mejora se encontró en la reducción de los tiempos de traslado en las maniobras de remolque, una actividad que genera

altos costos, altos riesgos en la seguridad de nuestro personal y tiempos improductivos.

El traslado de estos equipos implica desafíos logísticos significativos, incluyendo la necesidad de contar con un tractor de orugas adicional para llevar a cabo el remolque, los límites de velocidad en el traslado y las pausas obligatorias para evitar el sobrecalentamiento del tren de rodaje [1]. Esta problemática ha resultado en la implementación de un enfoque integral que abarca la optimización del transporte con el uso del camión TowHaul [3] [4], una solución que permite reducir los tiempos de inactividad y mejorar la disponibilidad de los equipos operativos.

Los resultados de este análisis han permitido desarrollar estrategias de optimización enfocadas en la eliminación de mudas, identificación de eventos Kaizen y la adopción de mejores prácticas de transporte utilizando el camión TowHaul. La reducción de tiempos de traslado y la mejora en la seguridad operativa han demostrado ser factores clave para una operación más eficiente y rentable.

## Metodología

Para la ejecución del proyecto se aplicaron diversas técnicas y herramientas de mejora continua, combinando el enfoque Lean Six Sigma con herramientas de análisis de datos [5].

## Modelo DMAIC

El modelo DMAIC (Fig 1.) fue la estructura principal utilizada para guiar la mejora del proceso.

Definir: Se identificaron los principales problemas en el proceso de paradas que requerían remolques,

estableciendo objetivos claros de reducción de tiempos, costos y mejora de la seguridad.



Fig 1. Modelo DMAIC aplicado al proceso de remolque.

**Medir:** Se recopilaron datos de los tiempos de traslado actuales que requerían remolques mediante herramientas de análisis estadístico, registros históricos del sistema de gestión de mantenimiento (CMMS) y observaciones en campo.

**Analizar:** Se identificaron cuellos de botella y causas raíz mediante herramientas como el VSM y análisis de cinco porqués de las mudas identificadas para convertirlas en proyectos de mejoramiento.

**Mejorar:** Se implementaron mejoras basadas en eventos Kaizen identificados en el VSM, optimización de rutas y comunicación en los traslados, capacitación del personal, acuerdos de servicios entre procesos y la adaptación del equipo TowHaul.

**Controlar:** Se establecieron indicadores clave de desempeño (KPIs) como tiempos de traslado (disminución del impacto por demora en remolques), disponibilidad de equipos y costos operativos, monitoreados a través de tableros de control visual.

### **Diagrama SIPOC**

El diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) es una herramienta clave en la gestión de procesos, proporcionando una visión clara y estructurada del flujo de trabajo. En la (Fig

2.) se visualizan los datos recopilados de los impactos y demoras en cada fase del proceso de mantenimiento, específicamente para las paradas de equipos que requieren remolque. Esta herramienta facilita la identificación de los procesos más afectados por demoras, mudas o desperdicios, permitiendo priorizar acciones de mejora y optimización. Los elementos clave del diagrama SIPOC para el proceso de mantenimiento de tractores de orugas son los siguientes:

#### **Proveedores (Suppliers):**

- Producción: Proveedor de equipos para mantenimiento.
- Planeación: Proveedor de información y planificación para el proceso.
- Herramientas y Equipos de Soporte: Suministradores de herramientas y equipos necesarios.

#### **Entradas (Inputs):**

- Materiales: Insumos necesarios para el mantenimiento.
- Recursos: Mano de obra competente y especializada.
- Información: Datos y documentación relevante.

#### **Proceso:**

- Mantenimiento: Conjunto de actividades rutinarias y procedimientos de mantenimientos y reparaciones.

#### **Salidas (Outputs):**

- Equipos Disponibles: Tractores de orugas listos para operaciones.
- Equipos Confiables: Tractores de orugas con niveles óptimos de confiabilidad.

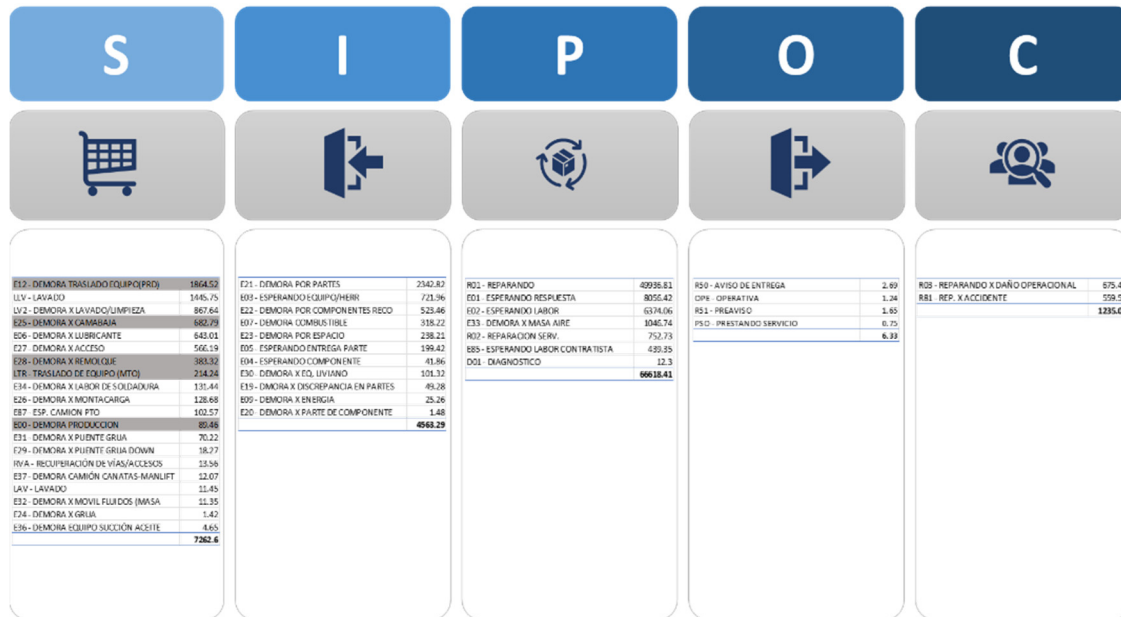


Fig 2. Diagrama SIPOC del proceso de mantenimiento de tractores de orugas.

- Equipos con Calidad: Tractores de orugas que cumplen con estándares de calidad.

Cientes (Customers):

- Producción: Cliente para usos operativos de los equipos.
- Operadores: Usuarios directos de los tractores de orugas.

**Value Stream Mapping (VSM)**

Se aplicó la herramienta VSM (Fig 3.) para obtener una visión clara del proceso de traslado, identificando y eliminando desperdicios.

Mapa del estado actual: Se documentaron los tiempos y actividades de traslado, desde la identificación de la necesidad de remolque hasta la entrega del equipo en el taller.

Identificación de desperdicios: Se encontraron demoras en la disponibilidad de equipos de remolque, tiempos de espera innecesarios y pasos redundantes.

Mapa del estado futuro: Se diseñó una solución optimizada, incorporando el camión TowHaul y nuevos procedimientos de coordinación y acuerdos operativos.

**Implementación de Mejores Prácticas**

Se adoptaron mejores prácticas, tales como:

- Uso de checklist (nuevo procedimiento de remolque) estandarizados para reducir tiempos de traslados que finalmente impactan los tiempos de preparación.
- Coordinación más eficiente entre producción y mantenimiento mediante acuerdos de servicios.
- Análisis de costo-beneficio de la implementación del TowHaul.

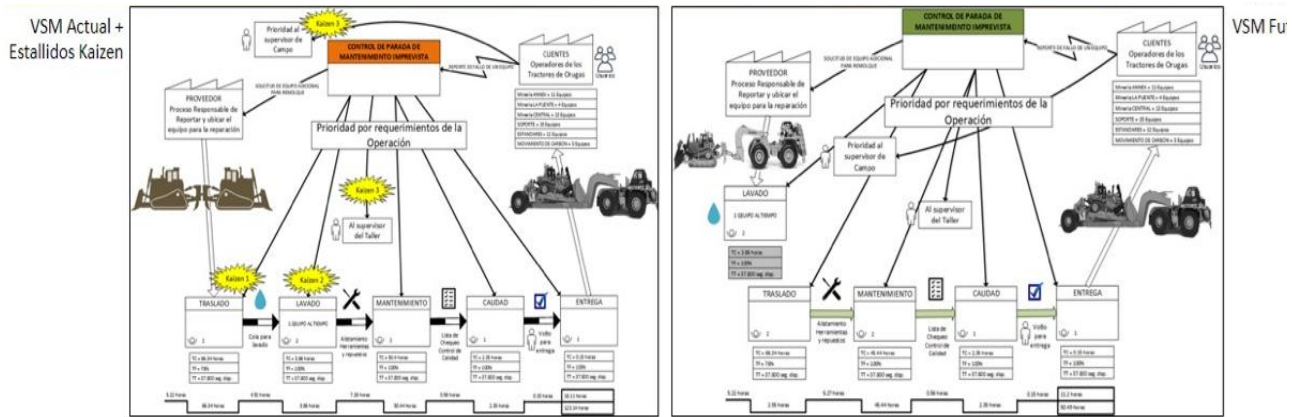


Fig 3. Value Stream Mapping (VSM)

## Resultados

El análisis económico y operativo tras la implementación de mejoras Kaizen en el Value Stream Mapping (VSM) evidencia una optimización significativa en los tiempos de remolque de los tractores de orugas. La reducción de desperdicios identificados ha mejorado la disponibilidad de los equipos durante las paradas de mantenimiento, contribuyendo a la eficiencia operativa y la sostenibilidad del negocio. La integración del camión TowHaul ha generado beneficios operativos y financieros, impactando positivamente la productividad y reduciendo costos de mantenimiento. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Los principales resultados obtenidos con la implementación del camión TowHaul fueron:

- Reducción del tiempo promedio de traslado en un 50%, de 36 a 18 horas.
- Ahorro anual proyectado entre US\$ 400,000 y US\$ 600,000.
- Mejora en la seguridad operativa, disminuyendo la exposición a riesgos ergonómicos y mecánicos.
- Mayor disponibilidad de equipos para operaciones productivas, impactando positivamente la productividad general de la mina.

## Conclusiones

La implementación del camión TowHaul, junto con las mejoras introducidas mediante eventos Kaizen y herramientas Lean Six Sigma como Value Stream Mapping (VSM), ha permitido optimizar el proceso de traslado de tractores de orugas, reduciendo tiempos, costos operativos y riesgos asociados. La optimización alcanzada ha mejorado significativamente la disponibilidad operativa de los equipos, garantizando una mayor eficiencia en la ejecución de tareas de mantenimiento y una mejor asignación de recursos.

Desde una perspectiva económica, la adopción de esta solución ha generado importantes ahorros en los costos de mantenimiento y operativos, consolidando la sostenibilidad financiera de la empresa. La optimización del proceso ha permitido una planificación más eficiente de las paradas de mantenimiento, asegurando un flujo de trabajo continuo y minimizando los tiempos improductivos.

Para garantizar la sostenibilidad de los resultados obtenidos, se plantea como siguiente paso el fortalecimiento de la capacitación del personal en Lean Six Sigma, la integración continua de herramientas de mejora y la implementación de un monitoreo constante de los indicadores clave de

desempeño (KPIs). Estas acciones permitirán consolidar los beneficios alcanzados y fomentar una cultura de mejora continua dentro de la organización.

En resumen, el proyecto ha demostrado ser una inversión estratégica que contribuye a la eficiencia operativa y a la reducción de costos, destacando la importancia de la innovación y la mejora continua en la industria minera.

## **Bibliografía**

[1] Caterpillar Inc. (2015). Caterpillar Performance Handbook.

[2] Muñoz Guevara, J. A., Zapata Urquijo, C. A., & Medina Varela, P. D. (2022). Lean Manufacturing: Modelos y herramientas. <https://doi.org/10.22517/9789587226362>

[3] TowHaul, Corporation, dba S. E. U. (2015). Manual de Operaciones Remolque Camabaja con Cuello de Ganso (TowHaul Mo). TowHaul.

[4] TowHaul, Corporation, dba S. E. U. (2016). Camabaja - Cuello de Ganso TowHaul. In TowHaul Corporation (TowHaul Co, Vol. 6, Issue August). TowHaul Corporation.

[5] Carreras, M. R., & José Luis Sánchez García. (2010). LEAN MANUFACTURING La evidencia de una necesidad. Revista Interface Tecnológica, 17(2), 767–779. <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfaceteecnologica/article/view/1000>.

## **Jean Pierre Castro Beltran**

Ingeniero mecánico con especialización en gerencia de mantenimiento, certificado en Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad (CGMC) por ACIEM y en Maquinaria Caterpillar - Tractores de Orugas D11R y D11T. Cuenta con más de 15 años de experiencia en la industria minera, desempeñándose en roles clave dentro del área de mantenimiento de equipos pesados en minas de carbón a cielo abierto. Ha liderado múltiples proyectos de mejora continua en mantenimiento de equipos pesados, aplicando metodologías Lean Six Sigma. Su enfoque se centra en la gestión eficiente de activos, garantizando la disponibilidad y confiabilidad de la flota de equipos mineros, contribuyendo a la sostenibilidad operativa y optimización de procesos.

Nombre del autor(es) Jean Pierre Castro Beltran  
Celular: 3176575286

Dirección del autor(es): Mushaisha Trinitarias 3 Apto. 102  
Oficina: Adm. 4 (Talleres Permantes Mina Cerrejon)  
E. mail: [jean.p.castro@cerrejon.com](mailto:jean.p.castro@cerrejon.com)  
Ciudad: Albania – La Guajira  
País: Colombia