

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación de la productividad en el mantenimiento Rutinario de la AP-
769 - tramo Chalhuanca - Tunapita aplicando las herramientas del Lean
Construction, Apurímac 2023**

Asesor:

Ing. Acosta Valer, Hugo Virgilio

Autor:

Huaccharaque Miranda, Flor Amalia

Para optar el título profesional de:

Ingeniero civil

Abancay - Apurímac - Perú

2025

Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 098

En la ciudad de Abancay, a los Diecisiete días del mes de diciembre del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1041-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 10 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquillca, Luis
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Ph. D. Vasquez Ramirez, Abbon Alex

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la productividad en el mantenimiento Rutinario de la AP-769-tramo Chalhuanca – Tunapita aplicando las herramientas del Lean Construction, Apurímac 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Huaccharaque Miranda, Flor Amalia

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Huaccharaque Miranda, Flor Amalia	Aprobado

Siendo las 13:00pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillca, Luis

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Ph. D. Vasquez Ramirez, Abbon Alex

Abancay 07 de enero del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 383

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



25% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 22%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Huaccharaque Miranda, Flor Amalia
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 72440846
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0007-5981-1202
Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Acosta Valer, Hugo Virgilio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 31036555
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-1492-0441
Datos de la Investigación	
Facultad	Ingeniería
Escuela Profesional	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	2023
Fuente de financiamiento	Fondos propios
Porcentaje de similitud	25%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

A mis padres por su apoyo incondicional, paciencia y tolerancia en cada paso de mi vida. Su amor incondicional, sus consejos y su fe en mí me han dado la fortaleza para llegar hasta este momento.

Cada esfuerzo y sacrificio que hicieron es la base sobre la cual se construye este logro.

Agradecimientos

A Dios por poner en mi camino a personas increíbles, con gran corazón, paciencia y amor al prójimo; quienes con sus palabras y apoyo me ayudan a continuar en mi crecimiento profesional. Que la vida los llene siempre de bendiciones.

Resumen

El estudio tuvo como propósito evaluar la influencia de la metodología Lean Construction en la productividad de las actividades de mantenimiento rutinario ejecutadas en la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, en la región Apurímac. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y con diseño cuasi experimental, considerando la medición del desempeño antes y después de aplicar las herramientas Nivel General de Actividad Laboral (NGA), Nivel de Carta de Balance (NCB) y Last Planner System (LPS). Los resultados evidenciaron incrementos significativos en los tiempos productivos y una reducción notable de los tiempos improductivos, alcanzando mejoras promedio del 15 % y hasta 26.67 % en determinadas actividades. La prueba t de Student ($p < 0.05$) confirmó que las herramientas Lean influyen de forma positiva y significativa en la productividad, al optimizar la planificación, coordinación y control de los recursos humanos y materiales. Se concluye que la aplicación de la metodología Lean Construction potencia la eficiencia operativa, mejora la organización del trabajo y contribuye a la sostenibilidad de los proyectos viales. Asimismo, representa una estrategia efectiva para incrementar la eficiencia y transparencia en la gestión pública de infraestructura vial en contextos rurales.

Palabras clave: productividad, mantenimiento rutinario, *Lean Construction*

Abstract

The study aimed to evaluate the influence of the *Lean Construction* methodology on the productivity of routine maintenance activities carried out on the AP-769 road, Chalhuanca – Tunapita section, in the Apurímac region. The research followed a quantitative, applied, and quasi-experimental design, assessing performance before and after the implementation of the General Level of Labor Activity (NGA), Balance Chart Level (NCB), and *Last Planner System* (LPS) tools. The results showed significant increases in productive times and a notable reduction in non-productive times, with average improvements of 15% and up to 26.67% in specific activities. The Student's t-test ($p < 0.05$) confirmed that Lean tools positively and significantly influence productivity, optimizing the planning, coordination, and control of human and material resources. It is concluded that the application of the *Lean Construction* methodology enhances operational efficiency, improves work organization, and contributes to the sustainability of road maintenance projects. Moreover, it represents an effective strategy to increase efficiency and transparency in public infrastructure management, especially in rural contexts where resource optimization is essential for sustainable development.

Key words: productivity, routine maintenance, *Lean Construction*

Índice General

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice General.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
I. Introducción.....	15
II. Planteamiento del problema.....	18
2.1 Descripción y formulación del problema.....	18
2.2 Objetivos.....	20
2.2.1 <i>Objetivo general</i>	20
2.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	20
2.3 Justificación e importancia.....	20
2.4 Hipótesis.....	22
2.5 Variables.....	23
III. Marco teórico.....	25
3.1 Antecedentes.....	25
3.2 Bases Teóricas.....	30
3.3 Definición de términos.....	31
IV. Metodología.....	42
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	42
4.2 Ámbito Temporal y espacial.....	43

4.3	Población y muestra	43
4.4	Instrumentos	44
4.5	Procedimientos	45
4.6	Análisis de Datos	45
4.7	Consideraciones Éticas	46
V.	Resultados y discusión	47
VI.	Conclusiones	83
VII.	Recomendaciones	85
VIII.	Referencias	87
IX.	Anexos	90

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	24
Tabla 2 <i>Cantidad de causas de incumplimiento noviembre 2023</i>	52
Tabla 3 <i>Cantidad de causas de incumplimiento noviembre 2023</i>	54
Tabla 4 <i>Características de la actividad Limpieza de Calzada</i>	56
Tabla 5 <i>Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	56
Tabla 6 <i>Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	59
Tabla 7 <i>Características de la actividad Bacheo</i>	61
Tabla 8 <i>Resultados de la actividad Bacheo de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	62
Tabla 9 <i>Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	64
Tabla 10 <i>Características de la actividad Roce y Limpieza</i>	66
Tabla 11 <i>Resultados de la actividad Roce y Limpieza de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	67
Tabla 12 <i>Resultados de la actividad Roce y Limpieza de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal</i>	69
Tabla 13 <i>Cuadro comparativo de las actividades Evaluadas</i>	74
Tabla 14 <i>Rendimientos sin LC</i>	76
Tabla 15 <i>Rendimientos con LC</i>	77

Índice de figuras

Figura 1 <i>Sistema Last Planner</i>	37
Figura 2 <i>Aplicación del Lookahead, Last Planner System, para el mes de noviembre del 2023</i>	48
Figura 3 <i>Aplicación del Lookahead, Last Planner System, para el mes de diciembre del 2023</i>	49
Figura 4 <i>Análisis de restricciones, Last Planner System, actividades periodo de evaluación.</i>	50
Figura 5 <i>Aplicación del PPC/PAC, Last Planner System, para el mes de noviembre del 2023</i>	51
Figura 6 <i>Porcentaje de causas de incumplimiento noviembre 2023</i>	52
Figura 7 <i>Aplicación del PPC/PAC, Last Planner System, para el mes de diciembre del 2023.</i>	53
Figura 8 <i>Porcentaje de causas de incumplimiento diciembre 2023</i>	54
Figura 9 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC – TNC</i>	57
Figura 10 <i>Distribución de tiempos productivos, contributarios y no contributarios de la actividad de limpieza de calzada</i>	58
Figura 11 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC</i>	59
Figura 12 <i>Distribución de tiempos productivos, contributarios y no contributarios de la actividad de limpieza de calzada</i>	60
Figura 13 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC</i>	62
Figura 14 <i>Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de Bacheo</i>	63
Figura 15 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC</i>	65
Figura 16 <i>Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de bacheo</i>	65
Figura 17 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC – TNC</i>	67
Figura 18 <i>Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de Roce y Limpieza</i>	68
Figura 19 <i>Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC</i>	70

Figura 20 <i>Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de Roce y Limpieza</i>	70
Figura 21 <i>% TP – TC – TNC actividad Limpieza de Calzada</i>	71
Figura 22 <i>% TP – TC – TNC actividad Bacheo</i>	72
Figura 23 <i>% TP – TC – TNC actividad Roce y Limpieza</i>	73

Índice de anexos

Anexo 01. Matriz de consistência.....	90
Anexo 02. Matriz de operacionalización de variable.....	91
Anexo 03. Panel fotográfico.....	92
Anexo 04. Formatos Herramientas <i>Lean Construction</i>	96

I. Introducción

Las carreteras son el vínculo que conecta a las personas con los servicios, la producción y las oportunidades. Su conservación no solo garantiza la movilidad, sino también el desarrollo social y económico de los pueblos que dependen de ellas. En regiones como Apurímac, donde las condiciones geográficas y climáticas exigen un esfuerzo constante por mantener las vías en buen estado, el mantenimiento rutinario se convierte en una tarea esencial para asegurar la continuidad del tránsito y la seguridad de los usuarios.

Sin embargo, el mantenimiento de las carreteras, especialmente en zonas rurales, suele enfrentarse a dificultades que limitan su eficiencia. En muchos casos, la planificación es insuficiente, la distribución de los recursos no es la más adecuada y las cuadrillas de trabajo carecen de métodos modernos de gestión. Estas limitaciones provocan que los resultados obtenidos no correspondan al esfuerzo invertido, generando retrasos, sobrecostos y una disminución de la productividad. Detrás de cada tramo vial deteriorado existe una pérdida de tiempo, energía y recursos que podrían optimizarse con una gestión más racional y colaborativa.

La provincia de Aymaraes, en la región Apurímac, presenta características geográficas y climáticas particulares que agravan dichas deficiencias. La topografía accidentada y la presencia de lluvias estacionales intensas durante varios meses del año exigen una gestión más rigurosa y eficiente del mantenimiento vial, especialmente en tramos críticos como el de Chalhuanca - Tunapita, correspondiente a la carretera AP-769.

En este contexto, las herramientas del *Lean Construction* ofrecen una nueva mirada sobre cómo organizar y ejecutar los procesos de mantenimiento. Esta filosofía promueve la participación activa del equipo, la eliminación de actividades innecesarias y el aprovechamiento máximo de los recursos disponibles. Aplicar este enfoque en los proyectos viales no solo busca mejorar los indicadores técnicos, sino también fortalecer una cultura de trabajo basada en la eficiencia, el respeto por el tiempo y el compromiso compartido con los resultados.

La presente investigación titulada “Evaluación de la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca – Tunapita aplicando las herramientas del *Lean Construction*, Apurímac 2023” tiene como propósito analizar cómo la implementación de dichas herramientas puede transformar la manera en que se ejecutan las labores rutinarias de conservación vial. Se pretende evaluar el nivel de productividad actual, identificar las causas que limitan el rendimiento y demostrar que con una gestión más organizada es posible alcanzar mejores resultados con los mismos recursos.

Este estudio adquiere relevancia porque aporta una visión práctica y humana sobre la ingeniería. No se trata únicamente de medir tiempos o rendimientos, sino de comprender los procesos, valorar el trabajo de las personas y generar un entorno colaborativo que impulse la mejora continua. En ese sentido, el enfoque Lean no se limita a una técnica, sino que representa una manera de pensar orientada al progreso, la eficiencia y la calidad del servicio público.

La estructura de la presente tesis contiene 9 apartados:

- I. Introducción, ofrece los alcances del estudio
- II. El planteamiento del problema, el cual incluye la descripción y formulación del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación, la hipótesis y las variables dependientes e independientes.
- III. Marco teórico que incluye los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos clave.
- IV. Metodología que especifica el tipo y nivel de investigación, ámbito temporal y espacial, población y muestra, instrumentos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas
- V. Resultados y discusiones, que presenta los resultados, la discusión y la prueba de hipótesis
- VI. Conclusiones

- VII. Recomendaciones
- VIII. Referencias, enumera las fuentes bibliográficas
- IX. Anexos, que incluye anexos relevantes y registros fotográfico.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

Las carreteras son elementos vitales para el desarrollo de una región, ya que permiten la comunicación entre comunidades, el transporte de productos y el acceso a servicios básicos. En Apurímac, las condiciones topográficas y climáticas generan un constante desafío para mantener en buen estado la red vial. El tramo Chalhuanca – Tunapita de la carretera AP-769 representa una vía importante para la conexión provincial; sin embargo, las labores de mantenimiento rutinario que se ejecutan en este sector presentan dificultades que reducen su productividad y eficiencia.

En la práctica, estas actividades suelen desarrollarse con una organización limitada, donde la planificación diaria, el control del tiempo y la gestión de los recursos materiales no siempre se coordinan de manera adecuada. Ello ocasiona pérdidas de horas de trabajo, demoras en la ejecución y uso ineficiente de equipos y materiales. A estas deficiencias se suma la ausencia de metodologías modernas que permitan mejorar la gestión y estandarizar los procesos, provocando que los resultados obtenidos no reflejen el verdadero potencial de las cuadrillas ni de los recursos asignados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020).

En los últimos años, la metodología *Lean Construction* ha cobrado relevancia en el sector construcción al proponer un enfoque basado en la mejora continua y la eliminación de desperdicios. Su aplicación se centra en generar valor a través de la participación activa del personal y la optimización de las tareas (Koskela, 1992). Herramientas como el *Last Planner System* (LPS), las 5S o el Value Stream Mapping (VSM) ayudan a organizar mejor los flujos de trabajo, reducir tiempos improductivos y aumentar la productividad sin necesidad de mayores recursos económicos (Ballard y Howell, 2003).

Pese a sus beneficios comprobados, esta metodología aún no se aplica de manera habitual en los programas de mantenimiento vial del país, donde predomina una gestión tradicional orientada más al cumplimiento de metas físicas que a la eficiencia del proceso (*Lean Construction Institute*, 2021). Por ello, es necesario analizar cómo la incorporación de herramientas Lean puede transformar la forma en que se desarrollan las actividades rutinarias, promoviendo un entorno de trabajo más ordenado, colaborativo y productivo.

En ese contexto, el presente estudio busca evaluar la productividad en el mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, mediante la aplicación de las herramientas del *Lean Construction*. Con ello se pretende demostrar que una gestión más organizada y participativa permite obtener mejores resultados en menos tiempo y con un uso más racional de los recursos disponibles, contribuyendo a la sostenibilidad de la infraestructura vial y al desarrollo regional.

2.1.1. Problema General

) ¿De qué manera la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* influye en la productividad del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, Apurímac 2023?

2.1.2. Problemas específicos

) ¿En qué medida la implementación de la herramienta Nivel General de Actividad Laboral (NGA) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023?

) ¿En qué medida la implementación de la herramienta Nivel de Carta de balance (NCB) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023?

-) ¿En qué medida la implementación de la herramienta *Last Planner System* (LPS) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023?

2.2 Objetivos.

2.2.1 *Objetivo general*

-) Evaluar la influencia de la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* en la productividad del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, Apurímac 2023.

2.2.2 *Objetivos específicos.*

-) Evaluar la influencia de la implementación de la herramienta Nivel General de Actividad Laboral (NGA) en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023.
-) Evaluar la influencia de la implementación de la herramienta Nivel de Carta de balance (NCB) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023.
-) Evaluar la influencia de la implementación de la herramienta *Last Planner System* (LPS) en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023

2.3 Justificación e importancia

La justificación teórica se sustenta en la conservación y el mejoramiento de las vías no pavimentadas constituyen un desafío permanente, donde el entorno natural impone condiciones particularmente exigentes. El clima presenta dos estaciones marcadas: una de lluvias intensas

y otra de prolongada sequía. Esta variación genera un ciclo constante de saturación y desecación que afecta de manera directa la estructura de las carreteras afirmadas, reduciendo su capacidad de soporte y acelerando su deterioro. Los suelos granulares mixtos, predominantes en la zona, pierden cohesión al saturarse, lo que provoca deformaciones, baches y desprendimiento de partículas finas. Estas últimas no solo deterioran la superficie de rodadura, sino que también incrementan la contaminación del aire y perjudican la salud de las personas que transitan o habitan cerca de la vía.

Desde un enfoque técnico, la presente investigación busca analizar alternativas que permitan incrementar la productividad en los trabajos de mantenimiento rutinario, optimizando los recursos y reduciendo el impacto ambiental. La propuesta se sustenta en la aplicación de los principios del *Lean Construction*, una filosofía que promueve la eficiencia, la planificación colaborativa y la mejora continua dentro de los procesos constructivos. Incorporar esta metodología en el mantenimiento de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, representa una oportunidad para transformar la forma tradicional de ejecutar las labores viales, enfocándose en la eliminación de desperdicios, el uso racional de materiales y la maximización del valor generado para la comunidad.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio adopta un enfoque cuantitativo aplicado, centrado en medir y comparar los niveles de productividad antes y después de la implementación de las herramientas *Lean Construction*.. Esta práctica limita la eficacia de los proyectos y genera costos adicionales por intervenciones repetitivas. Evaluar de manera objetiva el rendimiento operativo y la gestión de los recursos permitirá no solo mejorar los indicadores técnicos, sino también proponer un modelo de gestión sostenible para futuras intervenciones.

En el plano práctico, la investigación busca generar un impacto directo en los trabajadores, supervisores y comunidades que dependen de esta vía para su movilidad y desarrollo económico. Al aplicar herramientas Lean, se espera que los equipos de mantenimiento alcancen mayores niveles de coordinación, reduzcan los tiempos improductivos y mejoren la calidad del trabajo ejecutado. De esta forma, se contribuye a garantizar una infraestructura más segura, eficiente y duradera, que responda a las necesidades reales de la población local. Además, los resultados del estudio servirán como referencia para las entidades públicas encargadas de la gestión vial, fomentando la adopción de métodos innovadores que fortalezcan la sostenibilidad de las inversiones públicas en la región.

2.4 Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

) La aplicación de las herramientas del *Lean Construction* influye de manera significativa en la productividad en las actividades del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, Apurímac 2023.

2.4.2. Hipótesis Específicas

) La aplicación de la herramienta Nivel General de Actividad Laboral (NGA) influye de manera significativa en la productividad en las actividades del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, Apurímac 2023.

) La aplicación de la herramienta Nivel de Carta de balance (NCB) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023.

) La aplicación de la herramienta *Last Planner System* (LPS) influye en la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 - tramo Chalhuanca - Tunapita, Apurímac 2023.

2.5 Variables

Variable 1: VI Herramientas del *Lean Construction*.

Variable 2: VD Productividad en el mantenimiento rutinario.

Tabla 1*Matriz de operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Herramientas del Lean Construction	El <i>Lean Construction</i> es una filosofía de gestión aplicada al sector de la construcción que busca maximizar el valor y minimizar los desperdicios en los procesos constructivos. Su fundamento radica en la integración de todos los actores del proyecto mediante la planificación colaborativa, el flujo continuo de trabajo y la mejora permanente. (Koskela, 1992)	Operacionalmente, se medirá mediante indicadores cuantitativos de desempeño, tales como el porcentaje de cumplimiento de la planificación diaria, la reducción de tiempos improductivos, y el incremento del rendimiento laboral de las cuadrillas de mantenimiento.	General de Actividad Laboral (NGA) Nivel de Carta de Balance (NCB) <i>Last Planner System</i> (LPS)	Porcentaje de trabajos productivo Tiempo de trabajo productivo Porcentaje de Programación completada	Fichas técnicas de recolección de datos e información
Productividad en el mantenimiento rutinario	De acuerdo con Sweis et al. (2019), La productividad en el ámbito del mantenimiento vial hace referencia a la relación entre los recursos utilizados (mano de obra, materiales, equipos y tiempo) y los resultados obtenidos en términos de avance físico o desempeño del servicio.	“La productividad en el mantenimiento rutinario se entiende como el nivel de eficiencia y desempeño alcanzado por las cuadrillas operativas durante la ejecución de las actividades programadas en la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, considerando la relación entre el trabajo realizado y los recursos empleados.”	Diagnóstico Pérdidas Estrategias diseñadas	Tiempo de duración de la actividad Tiempo de duración de la actividad Cumplimiento de metas	Se realizarán las actividades bajo el Manual de ensayo de materiales para carreteras, del Ministerio de Transporte y comunicaciones y fichas técnicas de recolección de datos e información

Nota. Según la tabla 1, se observa la operacionalización de variables.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1. Antecedentes internacionales

Ismail y Abdul (2018), en la investigación que realizaron, tuvieron el propósito de analizar cómo la filosofía Lean podía optimizar la eficiencia en proyectos de conservación vial. El problema identificado fue la baja productividad derivada de la escasa planificación y el uso inadecuado de recursos. El estudio utilizó un diseño cuasi experimental en varios proyectos, aplicando herramientas como el *Last Planner System* y las 5S, y comparando los resultados antes y después de la intervención. Los hallazgos mostraron un incremento del 18 % en la productividad y una reducción significativa de los tiempos improductivos. Se concluyó que la incorporación de principios Lean permite generar una gestión más colaborativa, eficiente y sostenible, evidenciando que la planificación conjunta y la eliminación de desperdicios mejoran sustancialmente el desempeño en las actividades de mantenimiento rutinario.”

Ferreira y Silva (2020), desarrollaron la investigación “Lean Thinking Application to Road Maintenance: A Case Study in Brazil”, donde abordaron los problemas de baja eficiencia y elevados costos en los programas de mantenimiento vial brasileños. El objetivo fue evaluar el impacto del pensamiento Lean en la reducción de actividades sin valor agregado y la optimización de recursos. El estudio se basó en un enfoque descriptivo-aplicado, implementando herramientas como el Value Stream Mapping (VSM) y la metodología Kaizen en el Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes. Los resultados reflejaron una disminución del 25 % en los tiempos de respuesta y una notable mejora en la coordinación de los equipos de trabajo. Los autores concluyeron que la filosofía Lean fomenta una cultura de mejora continua, permitiendo

una gestión más ágil, participativa y orientada al valor en los procesos de mantenimiento de carreteras, con beneficios tanto económicos como operativos.

Ballard y Howell (2017), en su estudio “Improving Construction Productivity through Lean Principles: A Case in the United States”, analizaron la aplicación de los principios Lean en proyectos de infraestructura para contrarrestar los problemas de descoordinación y retrabajos frecuentes. El objetivo fue demostrar que la gestión basada en la mejora continua y el flujo de trabajo colaborativo incrementa la productividad y reduce pérdidas en materiales y tiempo. La investigación, de enfoque mixto, combinó observación directa y encuestas aplicadas a empresas constructoras y entidades de mantenimiento. Los resultados evidenciaron un incremento promedio del 20 % en la productividad y una reducción del 15 % en desperdicios. Los autores concluyeron que el enfoque Lean impulsa la eficiencia integral de los proyectos, fortaleciendo la comunicación entre equipos y consolidando una cultura organizacional basada en la cooperación, la planificación y la transparencia operativa.”.

López y Alarcón (2019), en su investigación titulada “*Lean Construction Implementation in Road Maintenance Projects: A Chilean Perspective*” analizaron las deficiencias de productividad en proyectos viales de la Región Metropolitana de Chile, donde la falta de planificación y control generaba sobrecostos y demoras. El objetivo del estudio fue evaluar la aplicación de herramientas Lean —principalmente el *Last Planner System* (LPS) y el Value Stream Mapping (VSM)— en la ejecución de tareas de mantenimiento rutinario. La metodología fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, utilizando observación directa, entrevistas y medición de tiempos de trabajo. Los resultados mostraron una mejora del 17 % en la eficiencia operativa y una reducción del 12 % en los tiempos ociosos. Se concluyó que la adopción de la filosofía Lean favorece

la planificación colaborativa y la eliminación de desperdicios, fortaleciendo la cultura de mejora continua en los equipos viales.

Hernández et al. (2021) realizaron el estudio “Application of Lean Tools to Enhance Productivity in Infrastructure Maintenance in Colombia”, con el propósito de determinar cómo la filosofía Lean podía mejorar la eficiencia en proyectos de conservación de vías secundarias. La problemática principal radicaba en la deficiente utilización de recursos, la falta de indicadores y la escasa coordinación interinstitucional. Se empleó una metodología descriptiva-aplicada con enfoque mixto, utilizando encuestas, observaciones y análisis de indicadores de rendimiento. Los resultados revelaron una reducción del 20 % en los desperdicios de materiales y un incremento del 25 % en la productividad promedio de las cuadrillas. Los autores concluyeron que la aplicación de herramientas Lean, especialmente el Kaizen y las 5S, fortalece la organización del trabajo y permite lograr resultados sostenibles en el mantenimiento vial colombiano.

Rodríguez y Martínez (2022) llevaron a cabo la investigación “Evaluating the Impact of *Lean Construction* on Road Projects Performance in Mexico”, motivada por los problemas de baja productividad y planificación ineficiente en las obras de mantenimiento de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de la implementación del *Last Planner System* sobre la reducción de tiempos improductivos y el aumento del rendimiento laboral. La metodología empleada fue cuantitativa, con un diseño cuasi experimental aplicado en tres frentes de trabajo. Los resultados demostraron una mejora promedio del 22 % en la productividad, acompañada de una reducción del 18 % en los tiempos muertos. Se concluyó que la metodología Lean contribuye a una gestión más disciplinada, con

planificación colaborativa y control continuo, fortaleciendo la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos viales en el contexto mexicano.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Burneo (2013), en su tesis “Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando la filosofía *Lean Construction*”, precisa que, parte de los problemas del contratista en la ejecución del contrato de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la carretera Sullana - Macará, están ligados al incumplimiento de los niveles de servicio, lo que se asocia a problemas de productividad en los procesos. La filosofía *Lean Construction* ha sido aplicada con éxito en la construcción de edificaciones, sin embargo, en el presente trabajo se aplicó este concepto de gestión de producción, para mejorar la productividad en actividades de mantenimiento rutinario de dicha carretera. Con la implementación de la metodología sugerida por lean, se lograron resultados positivos, lo que demuestra la viabilidad de la filosofía en esta área de trabajo, debido a que el *Lean Construction* no limita la aplicación de sus principios a la construcción, por el contrario, incentiva a la generación de nuevas ideas que ayuden a disminuir tiempos y actividades no productivas y por ende mejorar la productividad en proyectos de mantenimiento de carreteras.

Calongos y Reátegui (2017), en su tesis “Mejora De la productividad en el mantenimiento rutinario de un camino vecinal aplicando la Filosofía *Lean Construction*”, determina que, la filosofía *Lean Construction* incrementa la productividad, en tal sentido la aplicación de esta en cada una de las actividades disminuirá el tiempo de producción de una obra de Mejora de la Productividad en el Mantenimiento Rutinario de un Camino Vecinal Aplicando la Filosofía *Lean Construction*”. Las actividades estudiadas

incrementaron su productividad, utilizaron menos recursos, que se vieron reflejadas en el ahorro monetario. Al incrementarse la productividad de los recursos humanos, se disminuyó el incremento de uso de equipos y horas hombre para realizar cada uno de las actividades, por lo tanto, se incrementó las actividades programadas y amplitud de las metas. a disminuir tiempos y actividades no productivas y por ende mejorar la productividad en proyectos de mantenimiento de carreteras.

León (2018), en su tesis “Mejoramiento de la productividad aplicando herramientas *Lean Construction* en el mantenimiento rutinario del camino vecinal en el tramo: Canchacucho - Laguna Japurin- Gaya, Pasco 2018”, indica que las herramientas *Lean Construction*, mejora la productividad en un 15.8% en Limpieza de Calzada, 10.8% en Bacheo, 11.7 % en Limpieza de cunetas y un 22.5% en Transporte de Material de Cantera, así mismo por el aumento de la productividad el costo directo se redujo en un total de S/. 162.66 Soles, de los cuales S/. 140.11 soles corresponde a mano de obra del Mantenimiento Rutinario del Camino Vecinal: Canchacucho – Laguna Japurin – Gaya, Pasco 2018.

Kari (2020), en su tesis “Aplicación de *Lean Construction* para la optimización de la productividad en el mantenimiento rutinario del camino vecinal tramo: Villagloria- Abancay, 2020” tuvo como resultado que, al aplicar la metodología de *Lean construction* en la optimización de la productividad en el mantenimiento rutinario del camino vecinal se evidenció que la metodología *Lean Construction* permitió mejorar la eficiencia de las actividades programadas en el mantenimiento rutinario del camino vecinal en un 262.6%.

Además, se conoció los resultados de la comparación de rendimiento programado y el rendimiento ejecutado, considerando la aplicación de *Lean Construction* y la muestra

patrón, teniendo una diferencia favorable de 268% a favor de la aplicación de *Lean Construction*, es decir se ha superado ampliamente lo proyectado en la programación mensual, lo que conduce mayor eficiencia de recursos y a su vez mayor rapidez en la ejecución de dicho proyecto. Concluyendo que la metodología de *Lean Construction* influye favorablemente en el mantenimiento rutinario del camino vecinal.

3.2 Bases Teóricas

3.1.2. Herramientas del Lean Construction

Las herramientas del *Lean Construction* son un conjunto de métodos y técnicas de gestión orientadas a mejorar la productividad y confiabilidad de los procesos constructivos mediante la eliminación de desperdicios, la optimización del flujo de trabajo y el control sistemático de las actividades, promoviendo la planificación colaborativa y la mejora continua en la ejecución de proyectos (Ballard y Howell, 2003; Alarcón, 1997).

3.2.1. Lean Construction

El *Lean Construction* surge como una filosofía de gestión moderna que busca incrementar la eficiencia en los procesos constructivos mediante la reducción de desperdicios, la mejora continua y la participación activa de todos los actores del proyecto. Según Koskela (1992), el enfoque Lean traslada los principios de la manufactura esbelta al sector de la construcción, enfatizando el flujo de trabajo, la generación de valor y la eliminación de actividades que no contribuyen al producto final. De este modo, la construcción se entiende como un sistema de producción que debe optimizar la relación entre tiempo, costo, recursos y calidad.

Ballard y Howell (2003) señalan que el *Lean Construction* no solo introduce herramientas técnicas, sino que transforma la cultura organizacional del proyecto,

fomentando la colaboración, la transparencia y la confianza entre los equipos. En esa línea, su aplicación en el mantenimiento vial constituye una alternativa innovadora para optimizar la planificación, reducir tiempos improductivos y elevar la productividad. En el contexto peruano, donde los proyectos de mantenimiento rutinario suelen enfrentar deficiencias en gestión y control, la adopción de esta metodología permite alcanzar resultados más sostenibles, reduciendo desperdicios de materiales, mejorando la coordinación y garantizando un flujo continuo de trabajo (*Lean Construction Institute*, 2021).

3.3 Definición de términos

3.3.1. Nivel General de Actividad Laboral (NGA)

El Nivel General de Actividad Laboral (NGA) es un indicador técnico que mide el grado de aprovechamiento del tiempo de trabajo efectivo en relación con el tiempo total disponible durante una jornada laboral. En el contexto del mantenimiento vial, el NGA permite identificar las proporciones de tiempo destinadas a actividades productivas, contributivas e improductivas, proporcionando una visión objetiva del rendimiento real de las cuadrillas de trabajo. Según el Banco Mundial (2017), este tipo de indicadores es fundamental para diagnosticar la eficiencia operativa en proyectos públicos, ya que permite optimizar el uso de los recursos y mejorar la planificación de las tareas.

En términos conceptuales, el NGA evalúa cómo el personal distribuye su tiempo en la ejecución de labores diarias, considerando las actividades que generan valor directo como la limpieza de cunetas, el bacheo o la señalización y aquellas que no aportan valor, como los desplazamientos excesivos o las esperas por falta de materiales o equipos (MTC, 2020). Este análisis facilita la toma de

decisiones correctivas y preventivas que reducen los desperdicios de tiempo y aumentan la productividad global del proyecto.

De acuerdo con Hernández et al. (2021), el seguimiento del NGA permite identificar los principales cuellos de botella en los procesos de mantenimiento, brindando información cuantitativa que sustenta la aplicación de metodologías de mejora como el *Lean Construction*. Así, la integración del NGA en los programas de mantenimiento rutinario contribuye a establecer estándares de desempeño y metas realistas de productividad.

El método de cálculo del NGA se basa en el registro continuo de las actividades desarrolladas durante una jornada, clasificadas en tres categorías:

Tiempo productivo (TP): Corresponde a las actividades que generan valor directo al proyecto.

Tiempo contributivo (TC): Comprende acciones que apoyan indirectamente al proceso productivo (preparación, transporte de materiales, comunicación).

Tiempo improductivo (TI): Abarca los periodos de inactividad, espera o movimientos innecesarios.

El indicador se expresa mediante la fórmula:

$$N = \frac{T' + T'}{T' + T' + T'} \times 100$$

Este resultado permite medir la eficiencia global de las cuadrillas y establecer comparaciones entre diferentes frentes de trabajo o periodos de ejecución (MTC, 2020).

En la práctica, un NGA superior al 75 % indica un adecuado nivel de productividad, mientras que valores inferiores reflejan deficiencias en la organización, distribución de recursos o supervisión. Según Alvarado Chacón (2022), aplicar este indicador en obras de mantenimiento vial facilita el control diario de la producción y permite implementar mejoras continuas en la planificación y ejecución de tareas. Además, cuando se combina con herramientas Lean, el NGA se convierte en un instrumento estratégico para reducir los tiempos improductivos, estandarizar procesos y promover una cultura de eficiencia dentro de los equipos de trabajo.

3.3.2. Nivel de Carta de Balance (NCB)

El Nivel de Carta de Balance (NCB), conocido internacionalmente como Line of Balance (LOB), es una herramienta de planificación y control utilizada para coordinar actividades repetitivas en proyectos de construcción, garantizando un flujo de trabajo continuo y equilibrado. Según Arditi, Tokdemir y Suh (2002), la Carta de Balance permite representar gráficamente la relación entre el tiempo y el avance físico de las actividades, facilitando la identificación de conflictos y retrasos antes de su ocurrencia. En proyectos viales, donde las tareas se repiten a lo largo de un tramo, el NCB se convierte en una metodología eficaz para sincronizar los frentes de trabajo y reducir los tiempos de espera entre cuadrillas.

En el contexto del mantenimiento rutinario, el NCB permite visualizar el ritmo de ejecución de actividades como limpieza de cunetas, bacheo o perfilado de la superficie, asegurando que cada cuadrilla trabaje de manera coordinada y sin interrupciones. Kenley y Seppänen (2010) destacan que el uso de la Carta de Balance en la gestión de proyectos de infraestructura contribuye a la eficiencia

productiva al mejorar la secuencia y continuidad de los procesos. A diferencia de los cronogramas convencionales tipo Gantt, que se limitan a mostrar fechas de inicio y fin, el NCB representa la velocidad de producción, la distancia recorrida o el volumen ejecutado, proporcionando una visión más dinámica del progreso del proyecto.

Asimismo, el NCB facilita la detección temprana de interferencias o “cuellos de botella”, permitiendo a los supervisores tomar decisiones correctivas inmediatas. Tommelein y Ballard (2017) sostienen que esta herramienta refuerza los principios del *Lean Construction*, ya que promueve la planificación colaborativa, la reducción de desperdicios de tiempo y la mejora del flujo de trabajo. Cuando se aplica de manera sistemática, el NCB ayuda a estandarizar los ritmos de producción entre las cuadrillas, evitando tanto la acumulación de retrasos como el uso ineficiente de equipos y materiales.

De acuerdo con Horman y Kenley (2005), la Carta de Balance se fundamenta en tres componentes básicos:

La tasa de producción, que representa la velocidad a la que se completan las actividades.

La secuencia lógica de tareas, que define el orden y dependencia entre las mismas.

La sincronización de frentes, que busca mantener una distancia de trabajo constante entre cuadrillas para evitar interferencias.

En obras de mantenimiento vial, estos tres elementos son esenciales para garantizar la eficiencia del proceso constructivo, especialmente cuando los recursos son limitados y las condiciones climáticas pueden afectar el ritmo de trabajo. Por ello, el NCB se utiliza como una herramienta de planificación visual

que permite a los jefes de obra y residentes coordinar equipos, optimizar tiempos y asegurar la continuidad de las operaciones (Oloufa, 2018).

En el marco del *Lean Construction*, el Nivel de Carta de Balance (NCB) contribuye a la mejora de la productividad, ya que se alinea con los principios de flujo continuo, eliminación de desperdicios y planificación colaborativa. Al integrar el NCB con herramientas como el *Last Planner System* (LPS), es posible generar un sistema de control que mantenga el ritmo de producción equilibrado, reduciendo variaciones y garantizando que las metas diarias sean alcanzadas. En conclusión, el NCB constituye un instrumento esencial para lograr la eficiencia operativa en proyectos de mantenimiento rutinario, permitiendo gestionar de manera visual, ágil y proactiva la ejecución de las actividades viales.

3.3.3. Last Planner System (LPS)

El *Last Planner System* (LPS) es una herramienta central del *Lean Construction* desarrollada por Glenn Ballard y Greg Howell en la década de 1990, orientada a mejorar la planificación, la confiabilidad y el flujo de trabajo en los proyectos de construcción. Según Ballard (2000), el LPS busca transformar la planificación tradicional basada en cronogramas rígidos y decisiones centralizadas en un sistema colaborativo donde los responsables directos de las tareas (last planners) planifican, controlan y asumen compromisos realistas sobre el trabajo que ejecutarán. Esta metodología se fundamenta en los principios de transparencia, colaboración, aprendizaje y mejora continua, pilares de la filosofía Lean.

De acuerdo con Ballard y Tommelein (2016), el LPS se estructura en cinco niveles jerárquicos:

-) Planificación maestra, que define los hitos generales del proyecto.
-) Planificación de fases, donde se desglosan las actividades críticas.
-) Planificación de tareas intermedias, que establece la secuencia lógica y las restricciones.
-) Planificación semanal, donde los equipos formulan compromisos de corto plazo.
-) Evaluación del cumplimiento mediante el indicador Percent Plan Complete (PPC).

Cada nivel se interrelaciona, permitiendo que la planificación sea un proceso dinámico, donde las decisiones se ajustan según el desempeño real y las condiciones del entorno. Hamzeh, Ballard y Tommelein (2022) sostienen que este enfoque descentralizado mejora la confiabilidad de la producción, reduce la variabilidad y fortalece la coordinación entre los distintos actores.

En el ámbito del mantenimiento rutinario vial, el LPS es especialmente útil para programar actividades recurrentes como limpieza de calzada, bacheo y roce y limpieza. Permite que las cuadrillas de trabajo establezcan metas diarias alcanzables, identifiquen restricciones y promuevan la retroalimentación continua. Según Alarcón y Pellicer (2021), esta herramienta fomenta la participación del personal operativo en la toma de decisiones, fortaleciendo el compromiso y el sentido de pertenencia hacia los resultados del proyecto.

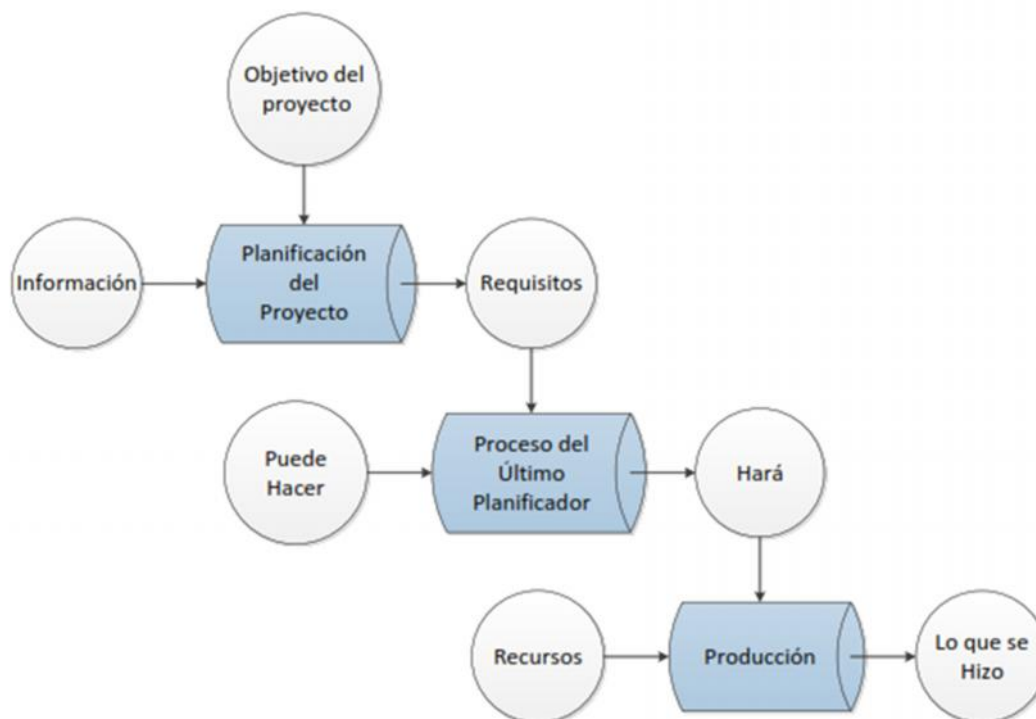
Asimismo, el Percent Plan Complete (PPC) principal indicador de desempeño del LPS permite evaluar la confiabilidad de la planificación comparando las tareas programadas con las realmente ejecutadas. Cuando el PPC se mantiene alto (superior al 80 %), se considera que la planificación es efectiva

y el equipo mantiene un flujo de trabajo estable. En cambio, valores bajos reflejan problemas de coordinación, disponibilidad de recursos o deficiencias de comunicación (Ballard y Howell, 2023).

El LPS se relaciona directamente con la productividad, ya que promueve la eliminación de restricciones (materiales, equipos, mano de obra o información), reduce los tiempos de espera y garantiza un flujo continuo de valor. Su aplicación en proyectos públicos o municipales mejora la transparencia en la gestión, ya que los compromisos se registran, evalúan y retroalimentan en cada ciclo semanal. De esta manera, el sistema convierte la planificación en un proceso participativo y medible, alineado con los objetivos del proyecto y las condiciones reales del trabajo de campo.

Figura 1

Sistema Last Planner



Nota: Burneo B. (2013) “Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando filosofía *Lean Construction*.”

3.3.4. Productividad en el mantenimiento rutinario

La productividad en la construcción y el mantenimiento vial se define como la relación entre los recursos empleados (mano de obra, materiales, equipos y tiempo) y los resultados alcanzados en términos de avance físico, calidad y eficiencia del proceso. Según Sweis et al. (2019), la productividad refleja el grado de eficiencia con el que los insumos se transforman en productos o servicios, siendo un factor decisivo para la sostenibilidad y rentabilidad de los proyectos. En los trabajos de mantenimiento rutinario, esta variable adquiere especial relevancia, ya que las tareas son periódicas, de bajo costo unitario, pero de alto impacto en la conservación de la infraestructura.

El mantenimiento rutinario vial comprende actividades que garantizan la transitabilidad y funcionalidad de la vía, como el bacheo, limpieza de cunetas, control de vegetación, perfilado y conservación de obras de drenaje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020). La productividad de estas labores no solo depende de la capacidad técnica de las cuadrillas, sino también de la organización del trabajo, la planificación, el clima y la disponibilidad de materiales y equipos. En la práctica, la medición de la productividad se realiza mediante indicadores cuantitativos, como el avance físico diario, el rendimiento por trabajador y el cumplimiento de metas programadas (Chávez Ramos, 2020).

Para mejorar la productividad, los proyectos deben incorporar metodologías de gestión eficientes, como el *Lean Construction*, que busca eliminar desperdicios, optimizar procesos y generar valor continuo. De acuerdo con Horman y Kenley (2005), una gestión eficiente de la productividad implica no solo controlar los recursos, sino también analizar los factores humanos y organizativos que inciden en el desempeño. En este sentido, la productividad en

el mantenimiento rutinario no se limita al volumen de trabajo ejecutado, sino que incluye la calidad, la oportunidad y la sostenibilidad de las acciones realizadas.

La medición de la productividad permite a las entidades públicas identificar brechas operativas, reducir costos, mejorar la programación y garantizar la eficiencia en el uso del presupuesto. Según Gundecha (2012), las pérdidas de productividad en la construcción pueden superar el 30 % cuando no existe una planificación adecuada o cuando los procesos presentan tiempos muertos, duplicidad de tareas y baja coordinación. Por ello, resulta esencial evaluar la productividad en las actividades rutinarias para implementar estrategias de mejora continua y garantizar un mantenimiento vial sostenible.

3.3.5. Rendimiento laboral

El rendimiento laboral representa la capacidad del trabajador o equipo para ejecutar las tareas asignadas dentro de un tiempo determinado y bajo condiciones específicas. De acuerdo con Hanna, Taylor y Sullivan (2022), el rendimiento está directamente vinculado al nivel de capacitación, motivación, organización y disponibilidad de recursos. En el mantenimiento vial, la productividad del personal depende de la correcta asignación de funciones, del liderazgo del supervisor y de la logística de materiales y equipos.

Cuando las cuadrillas están bien organizadas y cuentan con recursos suficientes, el rendimiento se incrementa significativamente; por el contrario, la falta de herramientas o de supervisión adecuada genera tiempos improductivos y retrabajos. Por tanto, el control del rendimiento laboral es un indicador clave para evaluar la eficiencia de los proyectos y adoptar medidas de mejora en la gestión del trabajo (Enshassi et al., 2017).

3.3.6. Eficiencia en el uso de recursos

La eficiencia en el uso de recursos mide la capacidad de una organización para aprovechar de manera óptima los insumos disponibles —humanos, materiales, financieros y tecnológicos— con el objetivo de obtener el máximo rendimiento con el mínimo desperdicio. Según Aziz y Hafez (2013), la eficiencia operativa se alcanza cuando las actividades se planifican de forma integrada, se reducen los tiempos de espera y se asegura la disponibilidad oportuna de materiales y equipos.

En proyectos de mantenimiento vial, esta dimensión evalúa el equilibrio entre los recursos empleados y los resultados alcanzados, permitiendo determinar si las actividades fueron ejecutadas con racionalidad técnica y económica. La eficiencia, además, está relacionada con la sostenibilidad, ya que un uso inadecuado de los materiales o del combustible incrementa los costos y afecta el medio ambiente (*Lean Construction Institute*, 2021).

3.3.7. Cumplimiento de metas

El cumplimiento de metas constituye un indicador esencial de la productividad, pues permite evaluar la capacidad del equipo para ejecutar las actividades programadas dentro del plazo y con la calidad prevista. Según Thomas y Sudhakumar (2014), el control de metas contribuye a la mejora de la eficiencia, ya que posibilita medir la confiabilidad de la planificación y la efectividad del trabajo en campo.

En los proyectos de mantenimiento rutinario, el cumplimiento de metas no solo refleja el desempeño operativo, sino también la calidad del liderazgo y la coordinación entre las áreas técnicas y logísticas. Alcanzar los objetivos

programados semanal o mensualmente evidencia que el flujo de trabajo se mantiene estable, mientras que las desviaciones permiten identificar problemas de gestión o factores externos, como el clima o la falta de insumos (Meza Huamaní, 2022).

3.3.7. Rendimiento

El rendimiento se define como la relación entre la cantidad de trabajo ejecutado y los recursos empleados en un periodo determinado, permitiendo evaluar la eficiencia con la que se desarrollan las actividades productivas y el aprovechamiento del tiempo y la mano de obra (Serpell y Alarcón, 2001).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico la baja productividad en el mantenimiento rutinario de caminos vecinales mediante el uso de herramientas técnicas y metodológicas derivadas de la filosofía *Lean Construction*. De acuerdo con Muñoz Razo (2011), la investigación aplicada se orienta a la transformación de la realidad mediante la utilización de conocimientos previamente desarrollados.

En cuanto a su nivel, la investigación es explicativa, dado que busca analizar las causas del problema, identificar relaciones entre variables y explicar el impacto de la aplicación de herramientas Lean en la productividad del mantenimiento vial. Este nivel permite establecer hipótesis causales y verificar su validez empírica (Quispe, 2017).

El presente estudio corresponde a un enfoque cuantitativo, ya que busca medir y analizar de manera objetiva la influencia entre la aplicación de las herramientas *Lean Construction* y la productividad en el mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca–Tunapita.

De acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2022), las investigaciones cuantitativas emplean la recolección y análisis de datos numéricos para establecer patrones y verificar hipótesis mediante procedimientos estadísticos.

El nivel de investigación es explicativo, porque pretende determinar la influencia que tiene la implementación de herramientas *Lean Construction* (*Last Planner System*, Nivel de Carta de Balance y Nivel General de Actividad Laboral) sobre la productividad de las labores de mantenimiento rutinario.

El diseño de investigación es no experimental, porque no se manipulan deliberadamente las variables independientes; los datos se observan tal como ocurren en el entorno natural del proyecto.

De tipo transversal correlacional, pues la información se recopila en un solo momento del tiempo (año 2023) para analizar la relación entre las herramientas *Lean Construction* y la productividad de las cuadrillas de mantenimiento.

Según Kerlinger y Lee (2002), en los estudios no experimentales el investigador no controla las variables, sino que describe y analiza sus efectos en condiciones reales.

4.2 Ámbito Temporal y espacial

En el ámbito espacial, el estudio se realizó en el camino vecinal tramo Chalhuanca - Tunapita, correspondiente a la carretera AP-769, ubicado en la provincia de Aymaraes, región Apurímac.

En el ámbito temporal la investigación abarcará el periodo comprendido entre noviembre y diciembre de 2023, tiempo en el cual se desarrollaron las actividades de observación, recolección de datos, análisis y validación de resultados.

4.3 Población y muestra

La población constituye el conjunto total de elementos, personas o unidades que comparten una característica común y sobre los cuales el investigador desea obtener información. Según Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2022), la población es “el universo o conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p. 202), siendo el punto de partida para todo proceso de muestreo y

análisis cuantitativo. De forma similar, Arias (2016) define la población como “la totalidad de sujetos o elementos que poseen una característica común observable y medible en una investigación determinada” (p. 81).

En este estudio, la población estuvo conformada por todo el personal técnico y operativo que participó en el mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita, durante el año 2023. Dicha población incluyó a ingenieros supervisores (Jefe de Operaciones y monitores), contratista y personal de campo, quienes intervinieron de manera directa en la ejecución de las actividades de conservación vial (limpieza de calzada, bacheo, roce y limpieza).

La muestra, de acuerdo con Tamayo y Tamayo (2014), es “una parte representativa de la población que se selecciona con el propósito de estudiar sus características y generalizar los resultados” (p. 103). Sin embargo, cuando la población es relativamente pequeña y accesible, se recomienda utilizar un muestreo censal, el cual, según Hernández Sampieri et al. (2022), consiste en estudiar la totalidad de los elementos de la población sin excluir a ninguno.

Por estas razones, se optó por aplicar un muestreo de tipo censal, considerando que los 12 integrantes constituyen una cantidad manejable y su participación garantiza una mayor validez de los resultados. En consecuencia, la muestra coincide con la población total ($N = 12$), asegurando que los datos reflejen de manera integral las percepciones y rendimientos de todos los actores involucrados en el mantenimiento rutinario de la vía AP-769.

4.4 Instrumentos

Para la recolección de datos se emplearon los siguientes instrumentos:

- **Formato de Carta de Balance:** Para registrar el tiempo empleado en cada actividad.

- **Formato de Nivel de Actividad (NGA):** Para clasificar el trabajo en TP, TC, TNC.
- **Curva de Avance Físico del Proyecto:** Para monitorear progresos diarios.
- Diagrama de Pareto: Para identificar las causas principales de pérdidas.
- Informe semanal de producción: Para verificar avance, cumplimiento y tiempos.

4.5 Procedimientos

Se procedió con una primera semana de observación sin aplicar herramientas *Lean Construction*, recolectando datos de actividades, tiempo empleado, niveles de productividad y cumplimiento de planificación. En la segunda semana, se aplicaron las herramientas NGA, NCB y LPS para reorganizar las tareas. Posteriormente se registraron nuevamente los datos de productividad y tiempos, para realizar la comparación entre ambos escenarios.

4.6 Análisis de Datos

Los datos se organizaron en hojas de cálculo Excel y fueron analizados mediante estadísticas descriptivas, comparando indicadores de productividad, cumplimiento de planificación y clasificación del tiempo de trabajo. Se calcularon promedios, porcentajes y diferencias entre ambas semanas.

Los datos serán analizados mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias, porcentajes y promedios. Se empleará además el Diagrama de Pareto, basado en la regla 80/20, para identificar las principales fuentes de pérdida de productividad.

Se calculará la productividad de cada actividad con la fórmula:

$$\text{Productividad (m/hh)} = \frac{\text{Avance diario (m)}}{\text{Horas-hombre}} \text{ Productividad}$$

Los resultados permitirán comparar el nivel de productividad antes y después de implementar las herramientas *Lean Construction*.

4.7 Consideraciones Éticas

La investigación titulada “Evaluación de la productividad en el mantenimiento rutinario de la AP-769 – tramo Chalhuanca – Tunapita aplicando las herramientas del *Lean Construction*, Apurímac 2023” se desarrolló con un profundo respeto por los principios éticos que guían la labor científica y el trabajo humano. En todo momento se buscó actuar con responsabilidad, honestidad y transparencia, asegurando que cada dato recogido refleje fielmente la realidad observada en el campo.

El estudio se realizó valorando la participación voluntaria y el tiempo de cada persona involucrada en las actividades de mantenimiento. Se explicó con claridad el propósito académico del trabajo y se solicitó su consentimiento antes de aplicar los instrumentos de investigación, garantizando la confidencialidad y el anonimato de la información proporcionada. Ningún dato personal será difundido ni utilizado fuera de los fines educativos de esta tesis.

Del mismo modo, se respetaron los principios de integridad científica, evitando cualquier manipulación o distorsión de los resultados. Todas las fuentes de información han sido citadas correctamente siguiendo las normas del estilo APA (7.^a edición), reconociendo el trabajo intelectual de otros autores.

V. Resultados y discusión

5.1. Descripción de los trabajos de campo

Para el desarrollo de la presente tesis de investigación se usó el plan de trabajo propuesto para el tramo AP-769 - Tramo Chalhuanca - Tunapita, así como el acceso a la ejecución del servicio para la toma de datos. Los Instrumentos y/o formatos utilizados para la recolección de datos fueron los siguientes: Sistema Last Planner, Carta de Balance y Nivel de Actividad.

5.2. Implementación de las herramientas del *Lean Construction*

5.2.1. Implementación de las herramientas del *Last Planner System* en el mantenimiento rutinario.

La aplicación del *Last Planner System* (Sistema del Último Planificador), nos permite asegurar un flujo constante y predecible dentro de la ejecución, también permite la mejora continua buscando entender cuáles fueron las causas que originaron los desperdicios o los retrasos y poder aplicar mejoras en las siguientes semanas de trabajo; es así que en la presente investigación se utiliza las siguientes herramientas del Last Planner System, como son el Lookahead, Análisis de las restricciones, y PPC/PAC (Percent Plan Complete / Porcentaje de Plan Cumplido / Porcentaje de Actividades completadas).

a) Herramienta Lookahead:

Iniciamos la aplicación de la herramienta Lookahead tomando en cuenta la programación maestra del servicio de mantenimiento rutinario correspondiente a los meses de evaluación (noviembre y diciembre 2023), adjunto en Anexos.

Figura 3

Aplicación del Lookahead, Last Planner System, para el mes de diciembre del 2023

LAST PLANNER SYSTEM LOOKAHEAD																																						
Proyecto : Servicio de mantenimiento rutinario del camino vecinal no pavimentado, tramo: Chalhuanca - Tunapita Longitud : 22.50 Km Planeer : Huaccharaque Miranda, Flor Amalia Periodo de Ejecución : Dic-23 Distrito : Chalhuanca Provincia : Aymaraes Departamento : Apurímac																																						
Item	Nombre de tarea	Unidad	REND. POR	META POR SEMANA	Cantidad de Horas	Diciembre 2023																																
						Semana 1			Semana 2							Semana 3							Semana 4							Semana 5							METRADO SEMANAL	METRADO MENSUAL
						V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D		
MR-101	Limpieza de Calzada	km	0.2	9 H	24.00 H	0.60			0.60	0.60	0.60	0.60				1.60	0.60	0.60	0.60	0.60				2.40												2.40	8.40	
MR-102	Bacheo	m2	10	55 H	48.00 H	30.00						30.00			30.00			30.00	30.00	60.00				150.00	60.00	30.00	30.00	30.00	60.00							210.00	660.00	
MR-103	Desquinche	m3	2.5	0 H	0.00 H																																	
MR-104	Remoción de Derrumbes	m3	3	0 H	0.00 H																																	
MR-201	Limpieza de Cunetas	m	120	9 H	32.00 H	360.00			360.00	360.00	360.00	360.00			1440.00									360.00	360.00										720.00	2880.00		
MR-202	Limpieza de Alcantarilla	und	0.67	6 H	24.00 H				2.00	3.00	3.00	3.00			2.00	2.00							2.00													4.00		
MR-203	Limpieza de Badén	m3	10	0 H	0.00 H											20.00							20.00													20.00		
MR-204	Limpieza de Zanjas de Coronación	m3	120	0 H	0.00 H																																	
MR-205	Limpieza de Pontones	und	0.5	0 H	0.00 H																																	
MR-206	Encauzamiento de Pequeños Cursos de Agua	m2	20	0 H	0.00 H																																	
MR-301	Roce y Limpieza	m2	400	8 H	24.00 H				1200	1200	1200	1200			3600.00	1200	1200	1200	1200				4800.00	800		1200									2000.00	10400.00		
MR-401	Conservación de Señales	m2	5	1 H	16.00 H																																	
MR-501	Reforestación	m2	100	0 H	48.00 H																											200.00			200.00	200.00		
MR-601	Vigilancia y Control	km	22.5	2 H	8.00 H				22.50						22.50	22.50							22.50	22.50											1.00	67.50		
MR-701	Reparación de Muros Secos	m2	1.2	0 H	0 H																																	
MR-702	Reparación de Pontones	m3	0.25	0 H	0 H																																	
Total Trabajadores al día						9.00			9.00	9.00	9.00	9.00			9.00	9.00	9.00	9.00	9.00			9.00	9.00	9.00	9.00	9.00									9.00	9.00		

Nota: La figura 3 muestra la aplicación del instrumento Lookahead, determinando la programación de carga de trabajo (metrado diario y semanal) de mantenimiento rutinario del camino vecinal, permite al contratista y supervisor conocer las metas diarias y semanales, correspondiente al mes de diciembre del 2023.

b) Herramienta análisis de restricciones

Figura 4

Análisis de restricciones, Last Planner System, actividades periodo de evaluación.

LAST PLANNER SYSTEM Análisis de Restricciones					
Proyecto :	Servicio de mantenimiento rutinario del camino vecinal no pavimentado, tramo: Chalhuanca – Tunapita				
Longitud :	22.50 Km				
Planeer :	Huaccharaque Miranda, Flor Amalia				
Período de Ejecución :	Nov-23				
Distrito :	Chalhuanca				
Provincia :	Aymaraes				
Departamento :	Apurímac				
Item	Descripción de la actividad	Tipo de restricción	Descripción de la restricción	Responsable de levantamiento	FRENTE
MR-101	Limpieza de Calzada	HE	Rastrillo en mal estado, dentaduras rotas	Contratista	Cuadrilla 1
MR-102	Bacheo	MAT-BACH / AP / HE	Falta de material de cantera en los lugares requeridos para el bacheo / no se cumple con la actividad previa de transporte de material / No cuenta con pison	Contratista	Cuadrilla 1
MR-201	Limpieza de Cunetas	OT	Cunetas colmatadas, suelo duro, dificulta la intervención adecuada	Contratista	Cuadrilla 1
MR-202	Limpieza de Alcantarilla	OT	Alcantarillas colapsadas	Contratista	Cuadrilla 1
MR-203	Limpieza de Badén	OP	No realizan adecuada limpieza	Contratista	Cuadrilla 1
MR-301	Roce y Limpieza	HE	No se cuenta con herramientas apropiadas para el roce de arboles altos	Contratista	Cuadrilla 1
MR-501	Reforestación	CLIM	En la temporada el clima hace inestable los taludes a reforestar	Contratista	Cuadrilla 1
MR-601	Vigilancia y Control	EQ	No dispone de movilidad para realizar la actividad	Contratista	Cuadrilla 1

Nota: La figura 4 muestra la aplicación del instrumento análisis de restricciones en las actividades de mantenimiento rutinario ejecutadas en el periodo de evaluación, definiendo las restricciones más frecuentes de acuerdo a la tipología del camino vecinal.

Herramienta PPC/PAC (Percent Plan Complete / Porcentaje de Plan Cumplido / Porcentaje de Actividades completadas):

Se aplico la herramienta PPC/PAC, en la primera semana de cada mes; en noviembre 2023 sin aplicar la metodología *Lean Construction* y en diciembre 2023 aplicando la metodología *Lean Construction*.

Figura 5

Aplicación del PPC/PAC, Last Planner System, para el mes de noviembre del 2023

LAST PLANNER SYSTEM PPC/PAC																	
Proyecto :		Servicio de mantenimiento rutinario del camino vecinal no pavimentado, tramo: Chalhuanca - Tunapita										Distrito :		Chalhuanca			
Longitud :		22.50 Km										Provincia :		Aymaraes			
Planeer :		Huaccharaque Miranda, Flor Amalia										Departamento :		Apurímac			
Periodo de Ejecución :		Nov-23										Fecha de corte :		11/11/2023			
Item	Nombre de tarea	Unidad	METRADO PLANIFICADO	SEMANA 2								METRADO REAL	% CUMPLIMIENTO	CUMPLIMIENTO	ANALISIS DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO & MEDIDAS CORRECTIVAS		
				L	M	M	J	V	S	D	TIPO				COMENTARIO	MEDIDA CORRECTIVA	
MR-101	Limpieza de Calzada	km	1.80	0.60	0.60	0.60						1.80	100%	SI			
MR-102	Bacheo	m2	290.00		25.00	10.00	15.00	50.00				100.00	34%	NO	MAT-BACH	NO SE CONSIGUIO MATERIAL DE CANTERA A TIEMPO	COLOCAR ANTICIPADAMENTE EL MATERIAL DE CANTERA EN SECTORES DE NECESIDAD
															AG-BACH	NO SE CUENTA CON AGUA	SE DEBE CONTAR CON EMBASES PARA EL TRANSPORTE DE AGUA
															HE	NO CUENTA CON PISON PARA EL COMPACTADO DE MATERIAL DE CANTERA	CUMPLIR CON EL PROCEDIMIENTO DE LA ACTIVIDAD, EL PISON ES IMPORTANTE.
MR-201	Limpieza de Cunetas	m															
MR-202	Limpieza de Alcantarilla	und															
MR-203	Limpieza de Badén	m2															
MR-301	Roce y Limpieza	m2	2400.00				900.00	800.00				1700.00	71%	NO	HE	NO SE TIENE LAS HERRAMIENTAS APROPIADAS, SE CUENTA UNICAMENTE CON MACHETE	PROPORCIONAR HERRAMIENTAS APROPIADAS PARA EL ROCE.
MR-501	Reforestación	und															
MR-601	Vigilancia y Control	km	22.50	12.00								12.00	53%	NO	EQ	NO SE CUENTA CON MOVILIDAD PARA RECORRER TODO EL TRAMO	IMPLEMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE UNA MOBILIDAD PARA CUMPLIR CON LA ACTIVIDAD EN TODA LA LONGITUD DEL TRAMO
														CALCULO DE PPC/PAC			
														ACTIVIDADES CUMPLIDAS (100%)		1	
														ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS		3	
														ACTIVIDADES PROGRAMADAS		4	
														% DE CUMPLIMIENTO (PPC/PAC)		25.00%	

Nota: La figura 5 muestra la aplicación del instrumento PPC/PAC en las actividades de mantenimiento rutinario ejecutadas en el mes de noviembre 2023, donde se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 25% sin la aplicación de la metodología *Lean Construction*.

Tabla 2*Cantidad de causas de incumplimiento noviembre 2023*

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO		
COD	DESCRIPCION	CANT
MAT-BACH	MATERIAL PARA BACHEO	1
AG-BACH	AGUA PARA BACHEO	1
TRAF	TRAFICO PESADO	0
CLIM	CLIMA	0
AP	ACTIVIDADES PREVIAS	0
DERR	DERRUMBES	0
EE	EJECUCION	0
HE	HERRAMIENTAS	2
OT	OTRO TIPO	0

Nota: Esta tabla muestra los resultados de las causas de incumplimiento durante la ejecución de actividades en noviembre 2023.

Figura 6*Porcentaje de causas de incumplimiento noviembre 2023*

Nota: La figura 6 y la tabla 2 muestran la cantidad y porcentaje de las causas de incumplimiento, demostrando que el 50% se debe a la falta de herramientas apropiadas para el desarrollo de las actividades, 25% por la falta de material de cantera y el 25% por la falta de agua, estas 02 ultimas principalmente para la actividad de bacheo.

Figura 7

Aplicación del PPC/PAC, Last Planner System, para el mes de diciembre del 2023.

LAST PLANNER SYSTEM PPC/PAC																
Proyecto: Servicio de mantenimiento rutinario de limpiavidas vehicular en parvotas, en las Chalhuanca - Tuzupeña Longitud: 22.50 km Planteo: Huachumayo-Miranda, Flor Amarilla Periodo de Ejecución: Dic-23 Dirección: Chalhuanca Provincia: Ayacucho Departamento: Ayacucho Fecha de corte: 23/12/2023																
Items	Nombre de tarea	Unidad	METRADO PLANIFICADO	SEMANA 3							METRADO REAL	% CUMPLIMIENTO	CUMPLIMIENTO	ANÁLISIS DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO & MEDIDAS CORRECTIVAS		
				L	M	M	J	V	S	D				TIPO	COMENTARIO	MEDIDA CORRECTIVA
				18/12	19/12	20/12	21/12	22/12	23/12	24/12			SI/NO			
MR-101	limpiavidas de Calabaz	km	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00				2.40	100%	SI			
MR-102	balizas	m2	150.00		30.00	30.00	30.00	60.00			150.00	100%	SI			
MR-201	limpiavidas de Curatay	m	2.00								2.00	100%	SI			
MR-202	limpiavidas de Alcañal	und	2.00		2.00						2.00	100%	SI			
MR-203	limpiavidas de Hualto	m2	20.00		20.00						20.00	100%	SI			
MR-301	borde y limpieza	m2	4800.00		1200.00	1200.00	1100.00	800.00			4300.00	90%	NO	HE	SE REQUIEREN OBREROS Y EQUIPOS, PARA COMPLETAR EL BORDO	COORDINAR EL USO DE OBREROS Y EQUIPOS PARA LA COMPLETACIÓN DEL BORDO
MR-501	deformados	und	2.00								2.00	100%	SI			
MR-601	limpiavidas General	km	22.50	22.50							22.50	100%	SI			

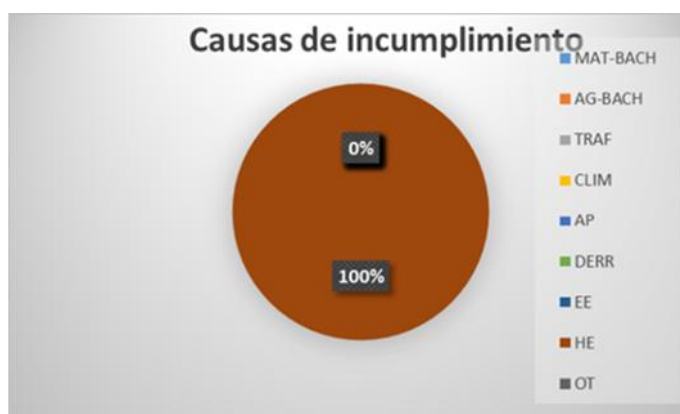
CÁLCULO DE PPC/PAC	
ACTIVIDADES CUMPLIDAS (100%)	5
ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS	1
ACTIVIDADES PROGRAMADAS	6
% DE CUMPLIMIENTO (PPC/PAC)	83.33%

Nota: La figura 8 muestra la aplicación del instrumento PPC/PAC en las actividades de mantenimiento rutinario ejecutadas en el mes de diciembre 2023, donde se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 83.13% con la aplicación de la metodología *Lean Construction*.

Tabla 3*Cantidad de causas de incumplimiento noviembre 2023*

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO		
COD	DESCRIPCION	CANT
MAT-BACH	MATERIAL PARA BACHEO	0
AG-BACH	AGUA PARA BACHEO	0
TRAF	TRAFICO PESADO	0
CLIM	CLIMA	0
AP	ACTIVIDADES PREVIAS	0
DERR	DERRUMBES	0
EE	EJECUCION	0
HE	HERRAMIENTAS	1
OT	OTRO TIPO	0

Nota: Esta tabla muestra los resultados de las causas de incumplimiento durante la ejecución de actividades en noviembre 2023.

Figura 8*Porcentaje de causas de incumplimiento diciembre 2023*

Nota: La figura 8 y la figura 3 muestran la cantidad y porcentaje de las causas de incumplimiento, demostrando que el 100% se debe a la falta de herramientas apropiadas

para el desarrollo de la actividad de roce y limpieza, en vista que en el sector se tiene arboles altos y dificulta al personal ejecutar adecuadamente la actividad.

5.2.2. Implementación de las herramientas de la herramienta Carta Balance en el mantenimiento rutinario

Conociendo las actividades a ejecutar y las restricciones identificadas se procede hacer analizar la efectividad de las actividades antes de aplicar la metodología *Lean Construction* y después de aplicar la metodología *Lean Construction*; para esta evaluación se utilizará la herramienta Carta Balance, y se determinó el análisis en 03 actividades importantes del mantenimiento rutinario, que son:

- Limpieza de Calzada
- Bacheo
- Roce y Limpieza.

Mediante esta herramienta estudiamos los tiempos y movimientos, donde identificamos el trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo no contributorio (TNC); con los resultados obtenidos se analizó y se tomó decisiones para mejorar el porcentaje de trabajo productivo (TP).

a) Actividad Limpieza de calzada

Para analizar la actividad Limpieza de Calzada, es necesario conocer el procedimiento de acuerdo al Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial, y las Especificaciones Técnicas del servicio de mantenimiento, el cual dice lo siguiente:

Tabla 4*Características de la actividad Limpieza de Calzada*

Cuadrilla	Procedimiento
3 Trabajadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales y elementos de seguridad. 2. Se recorrerá el sector bajo mantenimiento, eliminando al paso piedras, ramas, o cualquier otro obstáculo que se encuentre sobre la superficie de rodadura. 3. El material retirado deberá depositarse en los costados del camino, o a media ladera, donde no afecte el tránsito vehicular o peatonal, terrenos de cultivo viviendas, canales, acequias. 4. Verificar que la superficie de rodadura quede limpia. 5. Retirar las señales y elementos de seguridad.

Nota: la Tabla 4 detalla las Características de la actividad Limpieza de Calzada.

Aplicando el formato Carta Balance en la actividad de Limpieza de Calzada, antes de usar la metodología *Lean Construction* se tiene los siguientes datos.

Tabla 5

Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal.

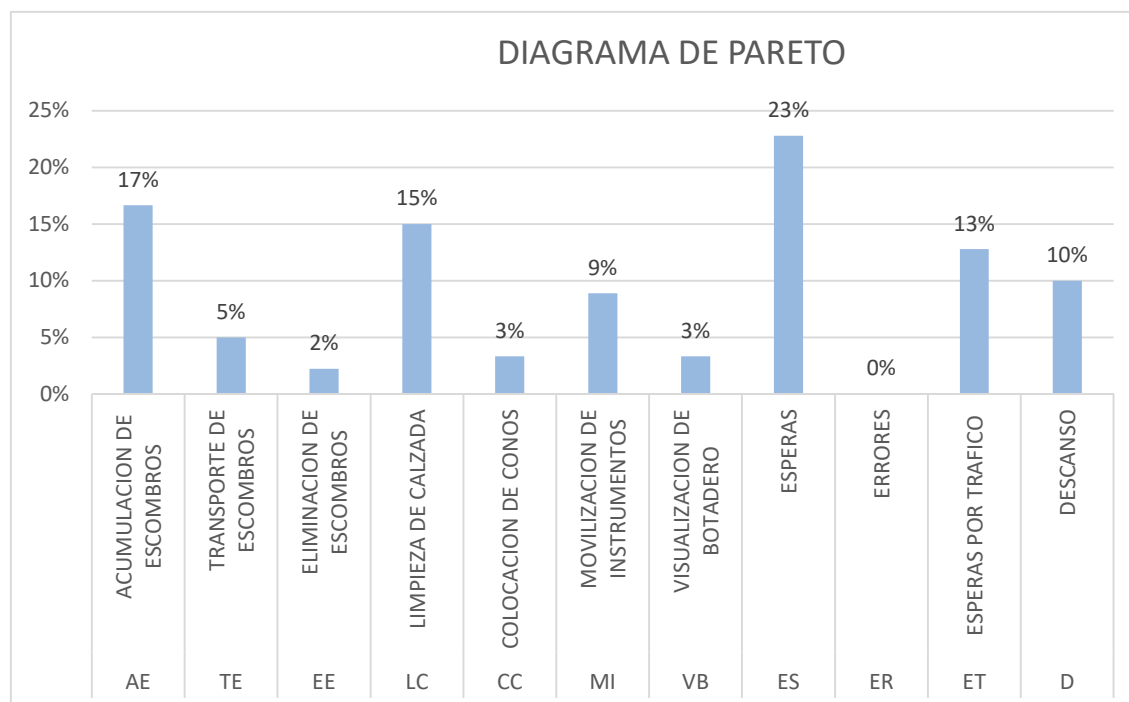
Actividad (Limpieza de Calzada)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	43	38	35	38.89	23
Tiempo Contributivo (PC)	12	22	13	15.56	9
Tiempo no Contributivo (TNC)	45	40	52	45.56	28
Total	100	100	100	100	60

Nota: La tabla 3 se muestra el registro de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Limpieza de Calzada en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 39.89% del tiempo en TP,

15.56% en TC y 45.56% en TNC y este ultimo corresponde a 28 minutos, lo cual nos da entender que la mitad del tiempo se va en TNC.

Figura 9

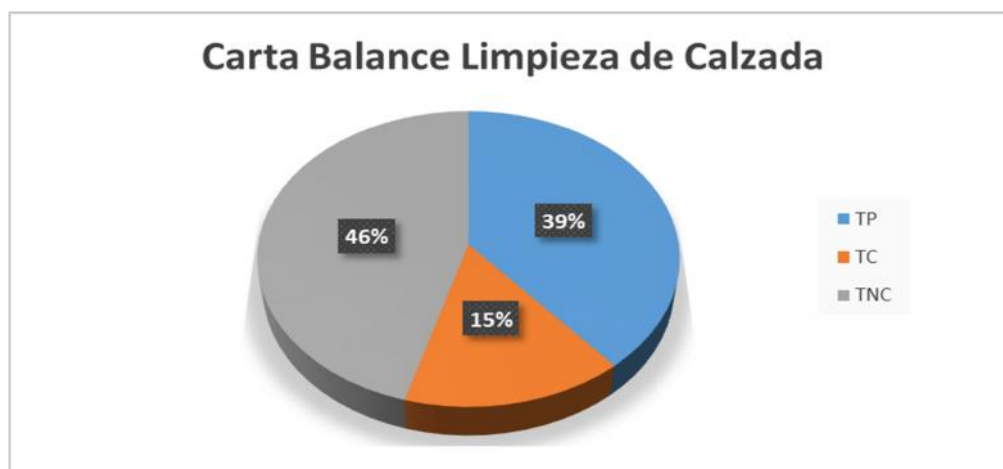
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC – TNC



Nota: De la figura 11 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Limpieza de Calzada durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia son las esperas por parte de los trabajadores sobre todo al momento de hacer la eliminación de escombros, puesto que dependen de una sola carretilla, y el personal se queda parado mientras no usa la carretilla.

Figura 10

Distribución de tiempos productivos, contributarios y no contributarios de la actividad de limpieza de calzada



Nota: La figura 12 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo no contributorio (TNC) de la actividad de limpieza de calzada, donde se ve que el tiempo no contributorio equivale al 46% de una hora de trabajo.

a) Propuesta de Mejora de Resultado

- Para reducir la demora en el inicio de actividad y jornada laboral, se plantea el uso de una movilidad (moto carga) con el de que el personal sea trasladado oportunamente y este pueda iniciar los trabajos 8:00 am en punto de acuerdo al TDR.
- Para disminuir el tiempo de espera debido a la falta de asignación de responsabilidades y/o carencia de recursos, se plantea brindar más herramientas manuales y capacitar al personal en la optimización de tiempo y mejor uso de recursos.
- Para evitar que los trabajadores descansen más de lo necesario, se plantea capacitación al personal y jefe de mantenimiento para una mejor supervisión.

- Para disminuir los tiempos de descanso se coordinó con el personal y se determinó una hora exacta para el descanso e hidratación.

Tomando en cuenta las mejoras planteadas, se ha realizado un nuevo cálculo de la carta balance aplicando la metodología *Lean Construction*.

Tabla 6

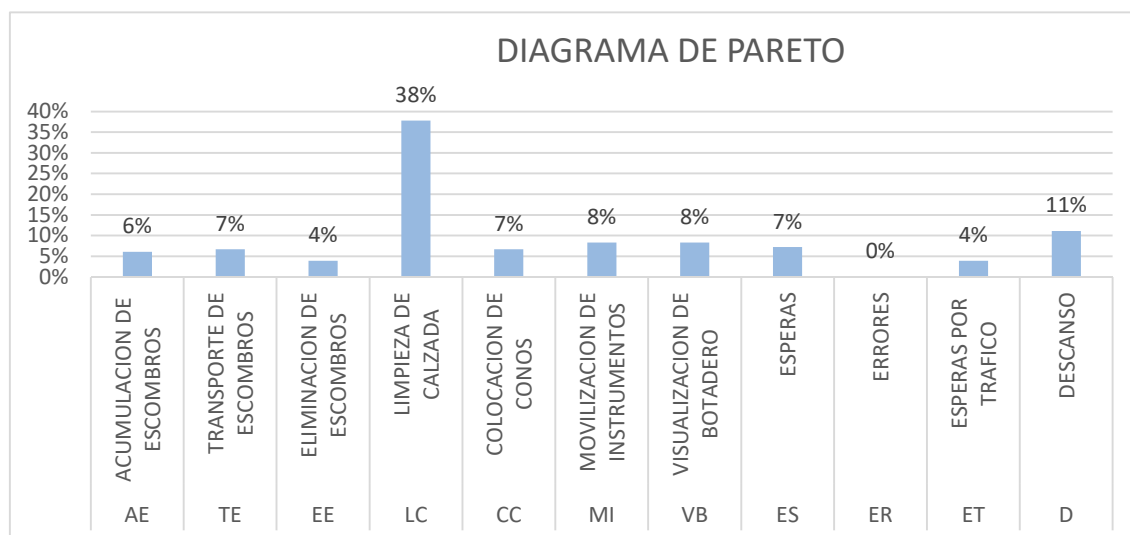
Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal

Actividad (Limpieza de Calzada)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	57	47	60	54.44	33
Tiempo Contributorio (TC)	27	25	18	22.33	14
Tiempo no Contributorio (TNC)	16	28	22	22.22	13
Total	100	100	100	100	60

Nota: La tabla 4 se muestra el registro de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Limpieza de Calzada en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 54.44% del tiempo en TP, 22.33% en TC y 22.22% en TNC y este último corresponde a 13 minutos, lo cual nos da entender que con las medidas de mejora se ha reducido el tiempo del TNC.

Figura 11

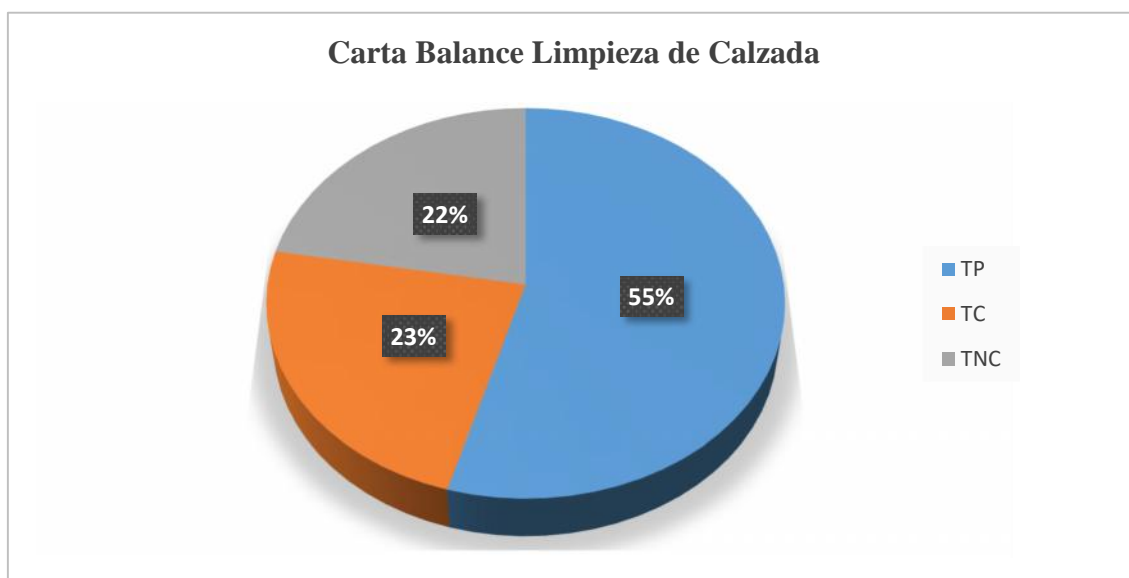
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC



Nota: De la figura 13 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Limpieza de Calzada durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia es en la acción de Limpieza de calzada, y las esperas por parte de los trabajadores se ha reducido al 7%, sin embargo, los descanso se ha incrementado en 1%.

Figura 12

Distribución de tiempos productivos, contributarios y no contributarios de la actividad de limpieza de calzada



Nota: En la figura 14 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo no contributivo (TNC) de la actividad de limpieza de calzada, donde se ve que el trabajo productivo a incrementado a un 60 % y el trabajo no contributivo ha disminuido a un 22% de una hora de trabajo.

a) Actividad Bacheo

Para analizar la actividad Bacheo, es necesario conocer el procedimiento de acuerdo al Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial, y las Especificaciones Técnicas del servicio de mantenimiento, el cual dice lo siguiente:

Tabla 7*Características de la actividad Bacheo*

Cuadrilla	Procedimiento
6 Trabajadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales y elementos de seguridad. 2. Cargar y transportar el material seleccionado de cantera hasta los lugares predeterminados. 3. Transportar y suministrar agua desde la fuente de abastecimiento hasta los lugares predeterminados. 4. Humedecer levemente las superficies a cortar. 5. Determinada las dimensiones de la superficie defectuosa, cortar los lados formando aristas vivas y regulares, de modo que se forme un rectángulo o un cuadrado. La profundidad del corte debe ser uniforme, no menor a 15 cm. 6. Limpiar la superficie cortada, evitando dejar material inadecuado y/o residuos. 7. Humedecer levemente la superficie a rellenar, verificando la humedad apropiada del material antes de compactar. 8. Rellenar por capas no mayores de 10 cm las áreas determinadas con el material seleccionado de cantera, efectuando la nivelación con pala y rastrillo. 9. Compactar con pisones manuales de concreto hasta llegar al nivel de la superficie de rodadura. 10. Verificar que el relleno del bache quede nivelado con la superficie de rodadura 11. Eliminar el material de la excavación y los sobrantes en los Depósitos de Materiales Excedentes- DME 12. Retirar las señales y elementos de seguridad.

Nota: La tabla 2 detalla las Características de la actividad bacheo.

Aplicando el formato Carta Balance en la actividad de Bacheo antes de usar la metodología *Lean Construction* se tiene los siguientes datos:

Tabla 8

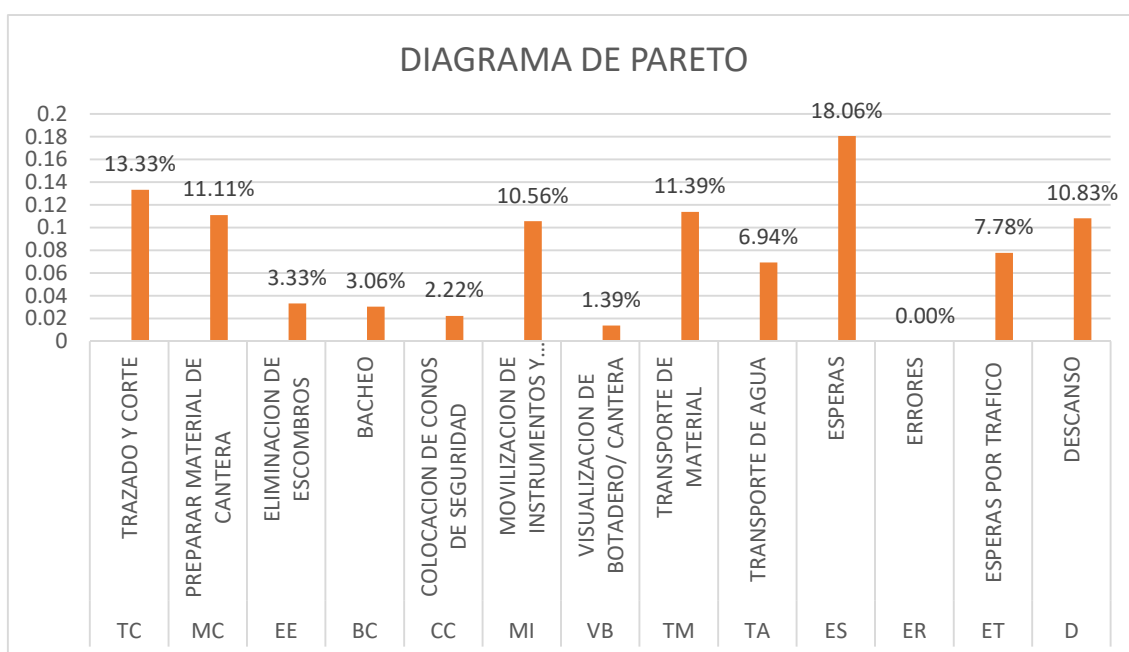
Resultados de la actividad Bacheo de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por personal

Actividad (Bacheo)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	48	27	27	55		7	30.83	18
Tiempo Contributorio (PC)	17	48	48	8	2	53	32.50	20
Tiempo no Contributorio (TNC)	35	25	25	37	5	40	36.67	22
Total	100	100	100	100	100	100	100	60

Nota: En el tabla 6 se muestra el registro de los tiempos productivos, contributarios y no contributarios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Bacheo en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 30.83% del tiempo en TP, 32.50% en TC y 36.67% en TNC y este último corresponde a 22 minutos, lo cual nos da entender que aproximadamente la mitad del tiempo se va en TNC.

Figura 13

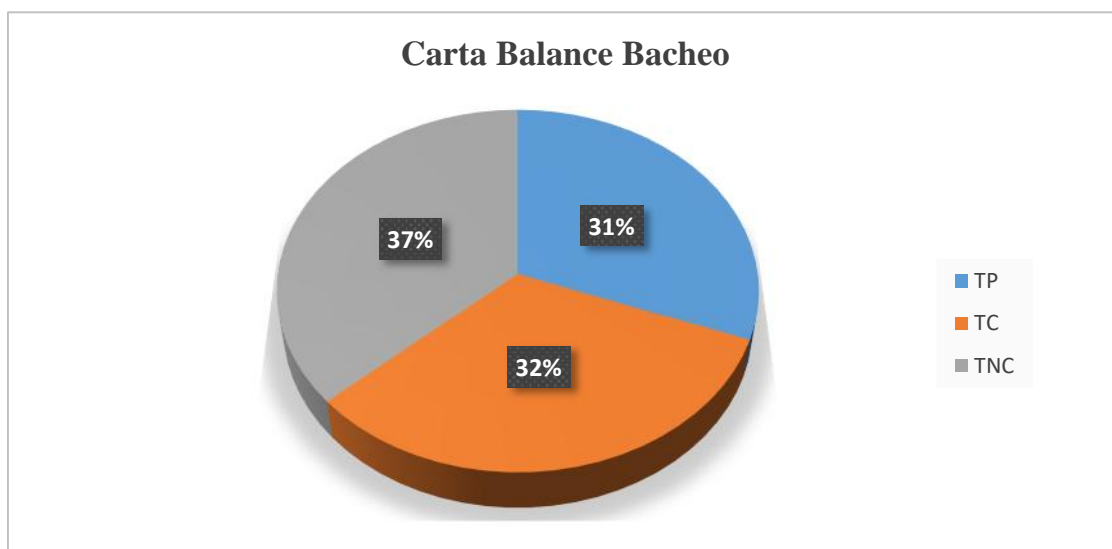
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC



Nota: De la figura 15 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Bacheo durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia son las esperas por parte de los trabajadores, ya que no disponen de material de cantera habilitado por tanto el personal debe extraer material del talud de corte, el cual toma tiempo y no siempre es un material adecuado, conllevando hacer un trabajo con poca calidad.

Figura 14

Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de Bacheo



Nota: La figura 16 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo no contributorio (TNC) de la actividad de Bacheo, donde se ve que, el tiempo no contributorio equivale al 37% de una hora de trabajo.

a) Propuesta de Mejora de Resultado

- Para reducir la demora en el inicio de actividad y jornada laboral, se plantea el uso de una movilidad (moto carga) con el de que el personal sea trasladado oportunamente y este pueda iniciar los trabajos 8:00 am en punto de acuerdo al TDR.
- Para evitar resultados con poca calidad se planteó brindar una capacitación

a todo el personal de acuerdo a las normas de ejecución de dicha actividad.

- Para disminuir el tiempo de espera debido a la falta de asignación de responsabilidades y/o carencia de recursos, se plantea brindar más herramientas manuales y capacitar al personal en la optimización de tiempo y mejor uso de recursos.
- Para evitar que los trabajadores descansen más de lo necesario, se plantea capacitación al personal y jefe de mantenimiento para una mejor supervisión.
- Para disminuir los tiempos de descanso se coordinó con el personal y se determinó una hora exacta para el descanso e hidratación.

Tomando en cuenta las mejoras planteadas, se ha realizado un nuevo cálculo de la carta balance aplicando la metodología *Lean Construction*.

Tabla 9

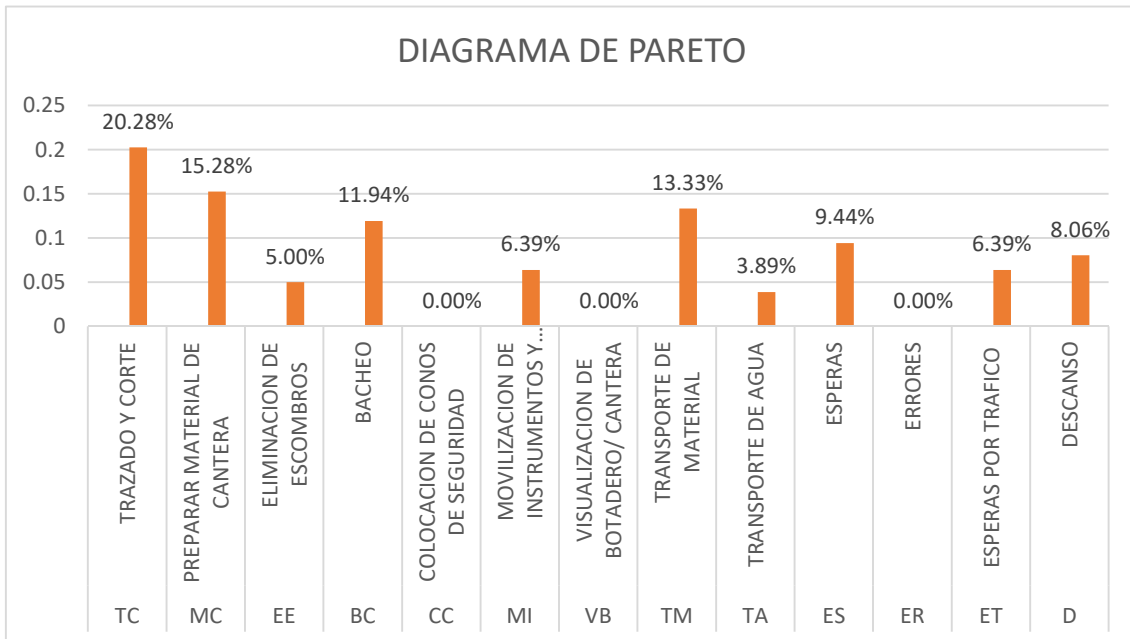
Resultados de la actividad Limpieza de calzada de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por personal

Actividad (Bacheo)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	62	68	70	42	22	52	52.50	32
Tiempo Contributorio (PC)	10	10	10	40	43	28	23.61	14
Tiempo no Contributorio (TNC)	28	22	20	18	35	20	23.89	14
Total	100	100	100	100	100	100	100	60

Nota: En la tabla 7 se muestra el registro de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Limpieza de Calzada en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 52.50% del tiempo en TP, 23.61% en TC y 23.89% en TNC y este último corresponde a 14 minutos, lo cual nos da entender que con las medidas de mejora se ha reducido el tiempo del TNC

Figura 15

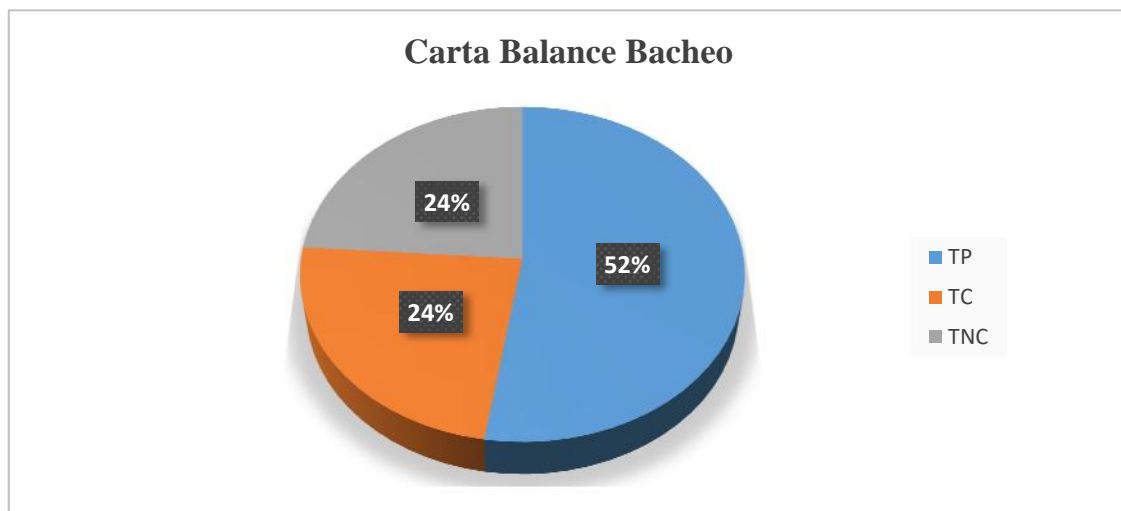
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC



Nota: De la figura 17 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Bacheo durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia es en la acción de Trazo y corte, y las esperas por parte de los trabajadores se ha reducido al 9.44%.

Figura 16

Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de bacheo



Nota: La figura 18 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo no contributorio (TNC) de la actividad de limpieza de calzada, donde se ve que el trabajo productivo a incrementado a un 52% y el trabajo no contributorio a disminuido a un 24% de una hora de trabajo.

b) Actividad Roce y Limpieza

Para analizar la actividad roce y limpieza, es necesario conocer el procedimiento de acuerdo al Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial, y las Especificaciones Técnicas del servicio de mantenimiento, el cual dice lo siguiente:

Tabla 10

Características de la actividad Roce y Limpieza

Cuadrilla	Procedimiento
3 Trabajadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar señales y elementos de seguridad. 2. Cortar la vegetación y raíces existentes en bermas, taludes y derecho de vía (hasta 3 metros a cada lado del borde de la calzada); la altura de la vegetación no sobrepasará los 30 cm, medidos desde el nivel del terreno natural. 3. El material procedente del roce será colocado dentro de los límites de derecho de vía. En ningún caso podrá ser depositado en la superficie de rodadura, accesos a viviendas, canales y zanjas. Al culminar la jornada de trabajo se eliminará el material en los DME. 4. Retirar las señales y elementos de seguridad.

Nota: La tabla 2 detalla las Características de la actividad roce y limpieza.

Aplicando el formato Carta Balance en la actividad de Roce y Limpieza antes de usar la metodología *Lean Construction* se tiene los siguientes datos

Tabla 11

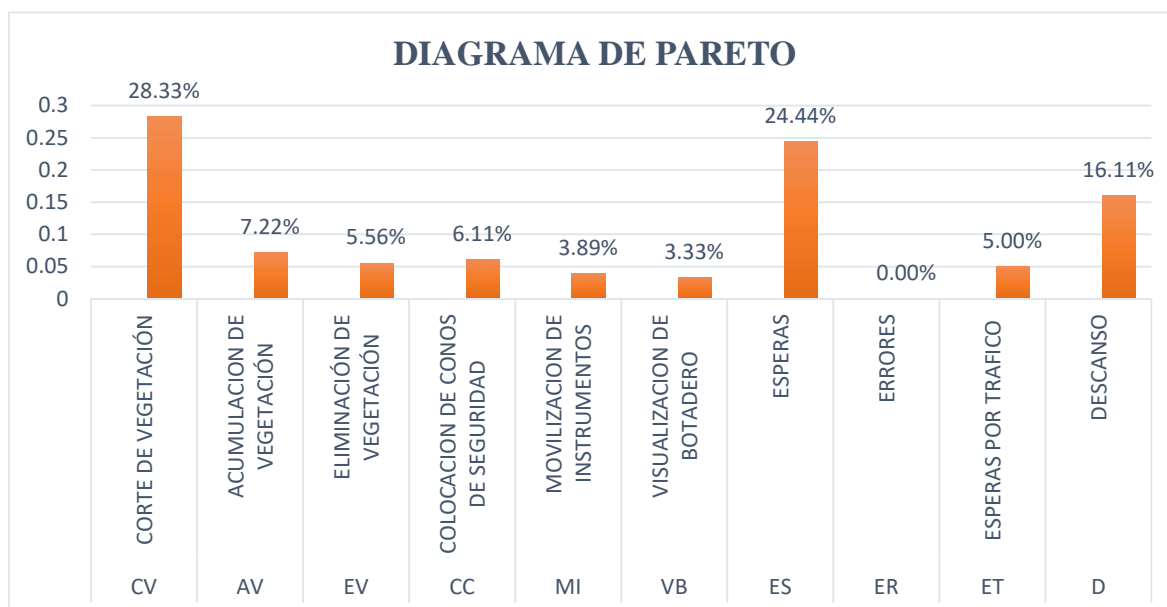
Resultados de la actividad Roce y Limpieza de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por personal

Actividad (Roce y Limpieza)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	52	47	25	41.11	25
Tiempo Contributorio (TC)	0	20	20	13.33	8
Tiempo no Contributorio (TNC)	48	33	55	45.56	27
Total	100	100	100	100	60

Nota: La tabla 9 se muestra el registro de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Roce y Limpieza en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 41.11% del tiempo en TP, 13.33% en TC y 45.56% en TNC y este último corresponde a 27 minutos, lo cual nos da entender que aproximadamente la mitad del tiempo se va en TNC.

Figura 17

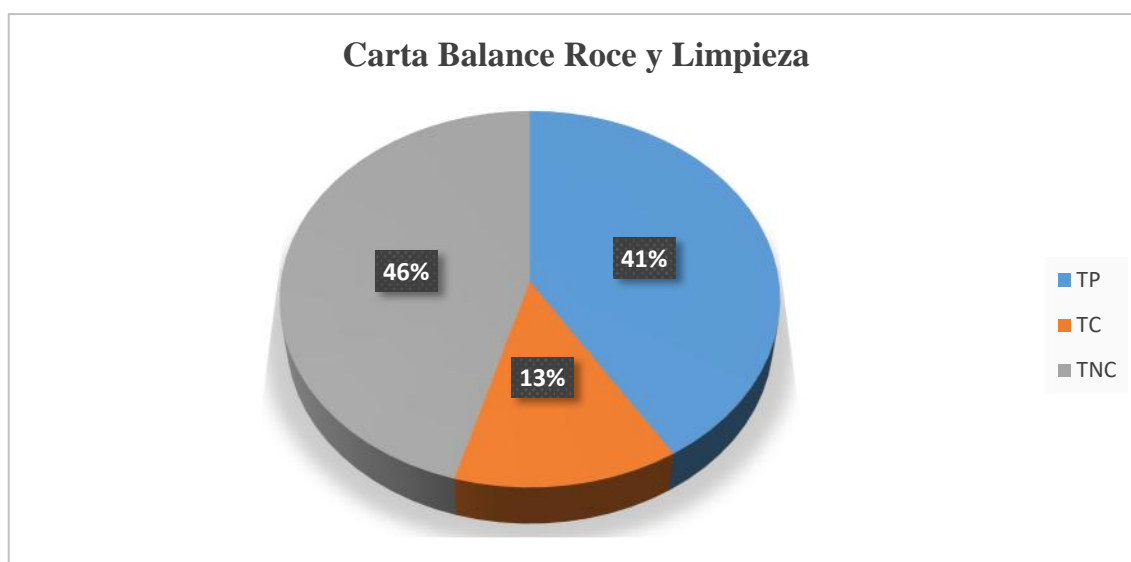
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC – TNC



Nota: De la figura 19 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Roce y Limpieza durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia en los trabajos no contributivos son las esperas por parte de los trabajadores, ya que no disponen de más herramientas conllevando a hacer turnos entre ellos.

Figura 18

Distribución de tiempos productivos, contributivos y no contributivos de la actividad de Roce y Limpieza



Nota: La figura 20 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo no contributivo (TNC) de la actividad de Roce y Limpieza, donde se ve que, el tiempo no contributivo equivale al 46% de una hora de trabajo.

Propuesta de Mejora de Resultado

- Para reducir la demora en el inicio de actividad y jornada laboral, se plantea el uso de una movilidad (moto carga) con el de que el personal sea trasladado oportunamente y este pueda iniciar los trabajos 8:00 am en punto de acuerdo al TDR.

- Para evitar resultados con poca calidad se planteó brindar una capacitación a todo el personal de acuerdo a las normas de ejecución de dicha actividad.
- Para disminuir el tiempo de espera debido a la falta de asignación de responsabilidades y/o carencia de recursos, se plantea brindar más herramientas manuales y capacitar al personal en la optimización de tiempo y mejor uso de recursos.
- Para evitar que los trabajadores descansen más de lo necesario, se plantea capacitación al personal y jefe de mantenimiento para una mejor supervisión.
- Para disminuir los tiempos de descanso se coordinó con el personal y se determinó una hora exacta para el descanso e hidratación.

Tomando en cuenta las mejoras planteadas, se ha realizado un nuevo cálculo de la carta balance aplicando la metodología *Lean Construction*.

Tabla 12

Resultados de la actividad Roce y Limpieza de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por personal

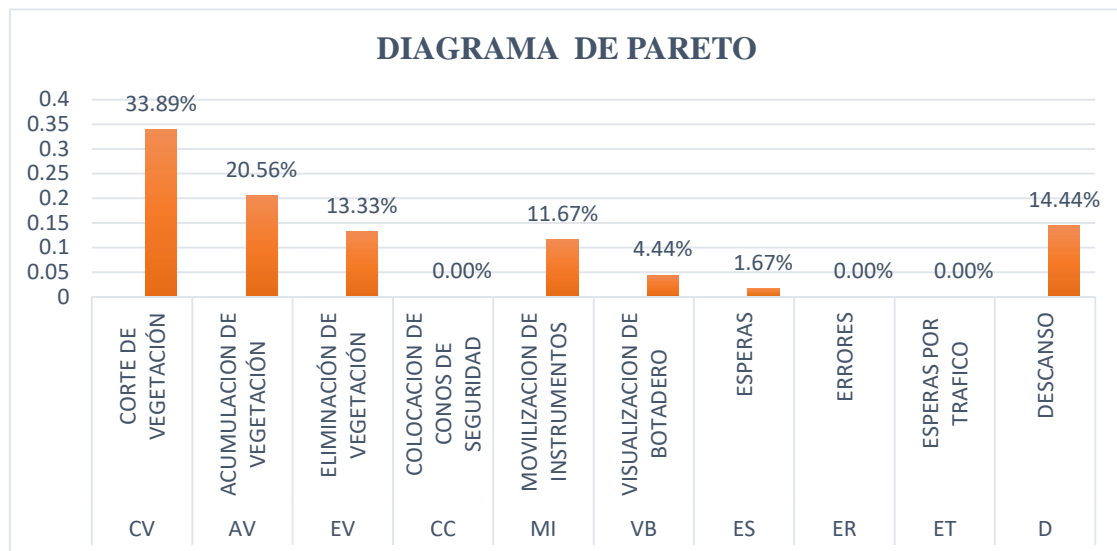
Actividad (Roce y Limpieza)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	(%) Promedio	Tiempo (Minutos)
Tiempo Productivo (TP)	67	63	73	67.78	40
Tiempo Contributorio (TC)	16	20	12	16.11	10
Tiempo no Contributorio (TNC)	17	17	15	16.11	10
Total	100	100	100	100	60

Nota: La tabla 10 muestra el registro de los tiempos productivos, contributorios y no contributorios por cada trabajador y en promedio para la actividad de Roce y Limpieza

en porcentaje sobre 1 hora de trabajo, se observa que: 67.78% del tiempo en TP, 16.11% en TC y 16.11% en TNC y este último corresponde a 10 minutos, lo cual nos da entender que con las medidas de mejora se ha reducido el tiempo del TNC.

Figura 19

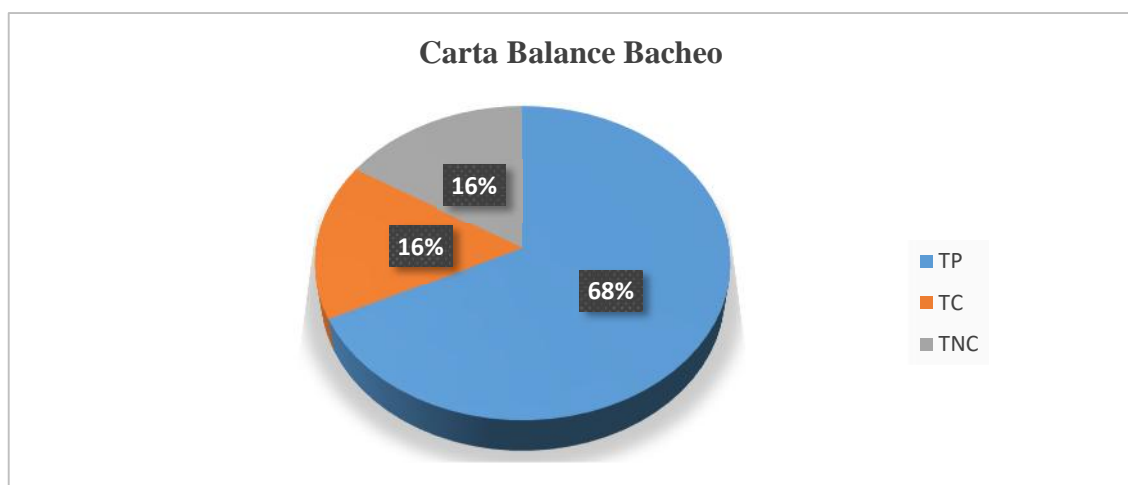
Diagrama de Pareto, % de incidencia de TP – TC - TNC



Nota: De la figura 21 se puede determinar la incidencia de cada trabajo durante el procedimiento de ejecución de la actividad de Roce y Limpieza durante 1 hora de trabajo, donde se observa que, la mayor incidencia es en la acción de Corte de vegetación, y las esperas por parte de los trabajadores se ha reducido al 1.67%.

Figura 20

Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de la actividad de Roce y Limpieza



Nota: La figura 22 muestra la Distribución de los promedios de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo no contributorio (TNC) de la actividad de roce y limpieza, donde se ve que el trabajo productivo ha incrementado a un 68% y el trabajo no contributorio ha disminuido a un 16% de una hora de trabajo.

5.2.3. Implementación de las herramientas de la herramienta Nivel General de Actividad Laboral

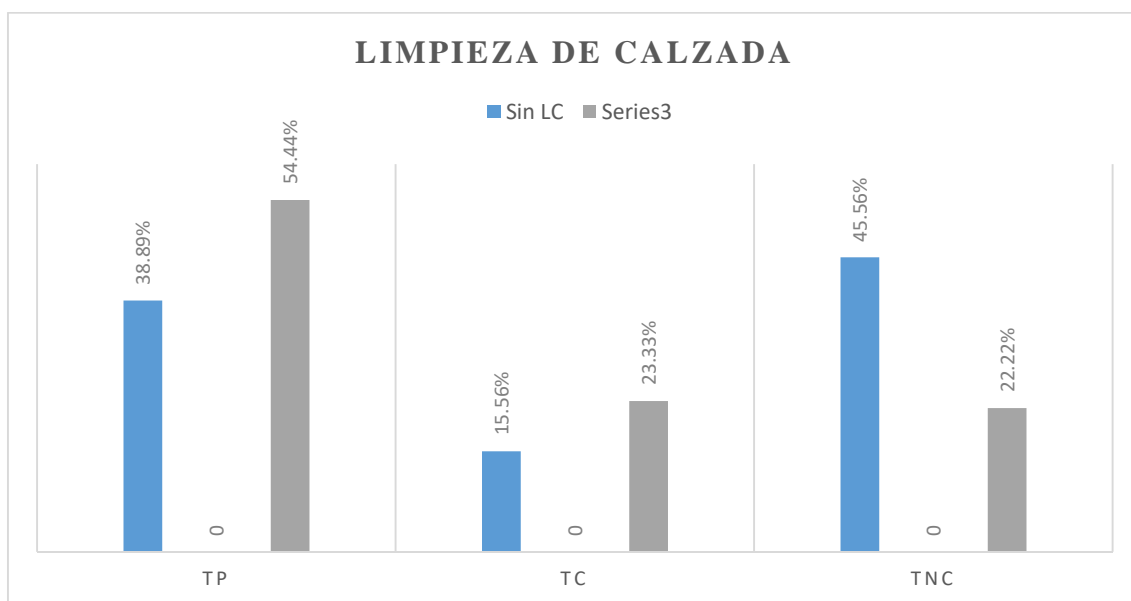
Esta herramienta permite cuantificar situaciones que bajo simple observación parecen perdidas, en esta investigación se aplica en las 03 actividades importantes del mantenimiento rutinario:

-) Limpieza de Calzada
-) Bacheo
-) Roce y Limpieza

a) Actividad de Limpieza de Calzada

Figura 21

% TP – TC – TNC actividad Limpieza de Calzada

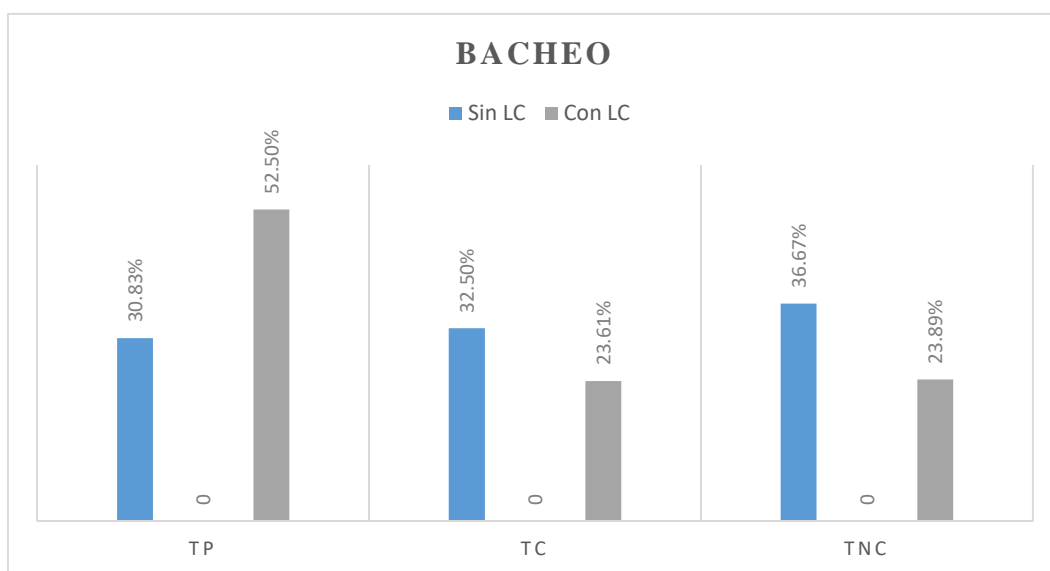


Nota: De la figura 23 se muestra los resultados de la Comparación de la ejecución de tareas de la actividad Limpieza de calzada, sin aplicar la metodología *Lean Construction* (LC) y con la aplicación de la metodología *Lean Construction*, se puede verificar que con la aplicación del LC los TP incrementaron a un 54.44% lo que significa mayor productividad y rendimiento del personal, lo propio en la los TC que aumentaron a un 23.33%, y los TNC disminuyeron a un 22.22%.

c) Actividad de Bacheo

Figura 22

% TP – TC – TNC actividad Bacheo

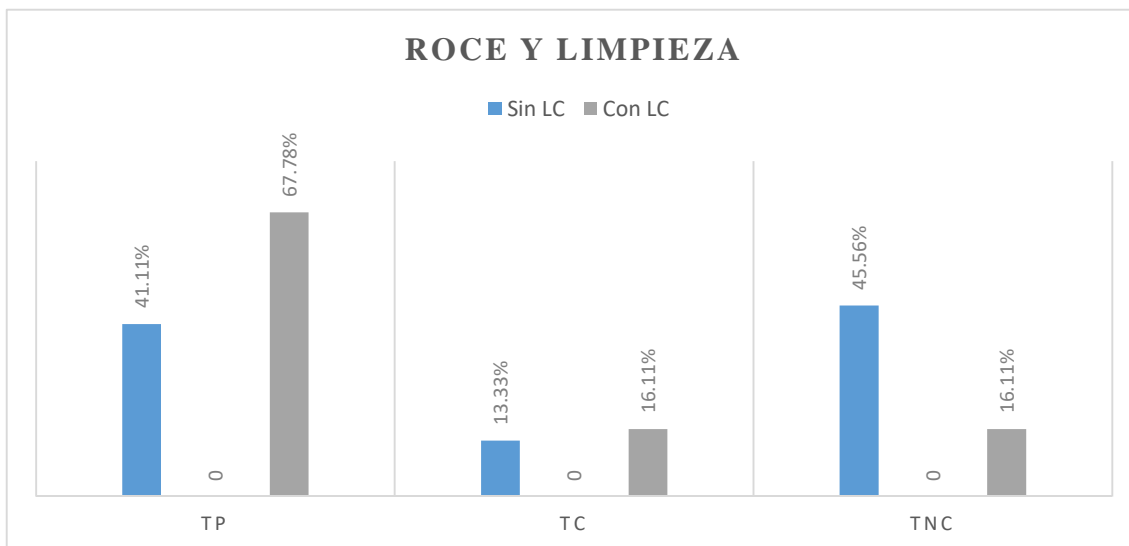


Nota: De la figura 24 se muestra los resultados de la Comparación de la ejecución de tareas de la actividad Bacheo, sin aplicar la metodología *Lean Construction* (LC) y con la aplicación de la metodología *Lean Construction*, se puede verificar que con la aplicación del LC los TP incrementaron a un 52.50% lo que significa mayor productividad y rendimiento del personal, sin embargo los TC que disminuyeron a un 23.61% puesto que el personal contaba con material de cantera y agua en la zona de trabajo, y los TNC disminuyeron a un 23.89%.

d) Actividad de Roce y Limpieza

Figura 23

% TP – TC – TNC actividad Roce y Limpieza



Nota: De la figura 25 se muestra los resultados de la comparación de la ejecución de tareas de la actividad Roce y Limpieza, sin aplicar la metodología *Lean Construction* (LC) y con la aplicación de la metodología *Lean Construction*, se puede verificar que con la aplicación del LC los TP incrementaron a un 67.78% lo que significa mayor productividad y rendimiento del personal, los TC incremento 16.11% puesto que el personal contaba con material de cantera y agua en la zona de trabajo , y los TNC disminuyeron a un 16.11%.

5.3. Discusión de Resultados

Al utilizar las cartas de balance y el nivel de actividad, ha sido posible observar las comparaciones de los resultados antes y después de implementar las herramientas *Lean Construction*. Así obteniendo resultados muy satisfactorios después de la aplicación del *Lean Construction*: La mejora de la productividad, el aumento de los tiempos contributorios y la disminución de los tiempos no contributorios, esto género que se utilicen menos recursos, para así lograr ratios óptimos de trabajo.

Del Figura 23, en general nos muestra un antes y un después de aplicar *Lean Construction*, de lo cual se observa una disminución de trabajos no contributivos en un 23.34% aproximadamente, correspondiente a la actividad de Limpieza de Calzada.

La Figura 24, en general nos muestra un antes y un después de aplicar *Lean Construction*, de lo cual se observa una disminución de trabajos no contributivos en un 12.78% aproximadamente, correspondiente a la actividad de Bacheo.

El Figura 25, en general nos muestra un antes y un después de aplicar *Lean Construction*, de lo cual se observa una disminución de trabajos no contributivos en un 29.45% aproximadamente, correspondiente a la actividad de Roce y Limpieza.

Con la información obtenida en las Figuras 23, 24 y 25, se realizó el siguiente cuadro comparativo de las actividades evaluadas, sin aplicar *Lean Construction* y después de aplicar *Lean Construction*, lo cual se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 13

Cuadro comparativo de las actividades Evaluadas

N°	Actividad	Sin Aplicación de <i>Lean Construction</i>	con Aplicación de <i>Lean Construction</i>	Brechas de Productividad
1	Limpieza de calzada	38.89%	54.44%	15.55%
2	Bacheo	30.83%	52.50%	21.67%
3	Roce y Limpieza	41.11%	67.78%	26.67%

Nota: Tal y como se muestra en la tabla 11, se observa un incremento de productividad de más de un 15% aproximadamente en cada una de las actividades evaluadas del mantenimiento rutinario manual del camino vecinal tramo: Chalhuanca - Tunapita.

Según los resultados adquiridos en la investigación, se ve que hay un nivel de relación entre la aplicación de las herramientas *Lean Construction* y la productividad.

De la programación maestra o inicial se tiene los rendimientos estandarizados brindados por el GEMA, del mismo modo del análisis de producción se tiene las cargas de trabajo diario, en las tablas siguientes se hace un comparativo del resultado de rendimientos aplicando la metodología Lean y sin aplicar la metodología Lean.

Tabla 14*Rendimientos sin LC*

Item	Nombre de tarea	unidad	RATIO DE ACUERDO AL GEMA					RATIO SIN LC NOVIEMBRE 2023				
			Metrado Mensual	Trabajadores/ Cuadrilla	Rendimiento por Trabajador / Producción diaria	Horas Trabajadas Diario	Productividad por hora	Metrado	Trabajadores/ Cuadrilla	Rendimiento por Trabajador / Producción diaria	Horas Trabajadas Diario	Productividad por hora
MR-101	Limpieza de Calzada	km	0.60	3.00	0.20	8.00	0.025	0.60	3.00	0.20	8.00	0.025
MR-102	Bacheo	m2	60.00	6.00	10.00	8.00	1.250	35.00	6.00	5.83	8.00	0.729
MR-301	Roce y Limpieza	m2	1200.00	3.00	400.00	8.00	50.000	650.00	3.00	216.67	8.00	27.083

Nota: De la tabla 12, se puede verificar que el rendimiento en la actividad limpieza de calzada se mantiene respecto al estándar GEMA, el rendimiento de la actividad bacheo es menor al estándar GEMA, lo propio con el rendimiento de la actividad Roce y Limpieza.

Tabla 15*Rendimientos con LC*

Item	Nombre de tarea	unidad	Metrado	RATIO DE ACUERDO AL GEMA				RATIO CON LC DICIEMBRE 2023				
				Trabajadore s/ Cuadrilla	Rendimient o por Trabajador / Producción diaria	Horas Trabajad as Diario	Productivida d por hora	Metrad o	Trabajadore s/ Cuadrilla	Rendimient o por Trabajador / Producción diaria	Horas Trabajad as Diario	Produc tividad por hora
MR-101	Limpieza de Calzada	km	0.60	3.00	0.20	8.00	0.025	0.60	3.00	0.20	8.00	0.025
MR-102	Bacheo	m2	60.00	6.00	10.00	8.00	1.250	48.00	6.00	8.00	8.00	1.000
MR-301	Roce y Limpieza	m2	1200.00	3.00	400.00	8.00	50.000	800.00	3.00	266.67	8.00	33.333

Nota: De la tabla 13, se puede verificar que al aplicar la metodología LC el rendimiento en la actividad limpieza de calzada se mantiene respecto al estándar GEMA, el rendimiento de la actividad bacheo a mejorado a 8m3/día sin embargo sigue siendo menor al estándar GEMA, lo propio con el rendimiento de la actividad Roce y Limpieza ha aumentado a 266.67m2/día, pero sigue siendo inferior al estándar GEMA.

Los resultados alcanzados en la presente investigación evidencian que la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* principalmente el *Last Planner System* (LPS), el Nivel General de Actividad Laboral (NGA) y la Carta de Balance (NCB) influyó de manera significativa en el incremento de la productividad de las cuadrillas encargadas del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca Tunapita.

Al comparar los indicadores obtenidos antes y después de la intervención, se observó un aumento promedio de la productividad superior al 15 %, alcanzando valores de hasta 26.67 % en la actividad de roce y limpieza, 21.67 % en bacheo y 15.55 % en limpieza de calzada.

Estos resultados confirman que la filosofía Lean, al promover la planificación colaborativa y la eliminación de desperdicios, tiene un impacto directo y positivo sobre el rendimiento operativo en el mantenimiento vial.

Los hallazgos coinciden con los resultados obtenidos por Leon (2018), quienes demostraron un incremento del 15.8 % en la productividad en proyectos de conservación vial tras aplicar herramientas Lean. De manera similar, en esta investigación se constató que la mejora de la productividad estuvo asociada a una reducción de tiempos improductivos y a una mejor coordinación entre las cuadrillas, evidenciando que el enfoque Lean es replicable en contextos viales de distinta escala y complejidad.

Asimismo, Ferreira y Silva (2020) reportaron en Brasil una disminución del 25 % en los tiempos de respuesta y una mejora en la coordinación de los equipos de trabajo mediante la aplicación del Value Stream Mapping (VSM) y la metodología Kaizen. Los resultados de la presente investigación muestran tendencias análogas, puesto que la integración de herramientas Lean redujo las demoras, mejoró la logística de materiales y facilitó la toma de decisiones en campo.

Del mismo modo, Ballard y Howell (2017) verificaron en Estados Unidos que la implementación de los principios Lean generó un incremento promedio del 20 % en la productividad y una reducción del 15 % en desperdicios. En el tramo Chalhuanca–Tunapita, las mejoras alcanzaron porcentajes semejantes, lo que demuestra que la filosofía Lean puede aplicarse con éxito en programas de mantenimiento vial de bajo presupuesto, siempre que se fomente la cultura de planificación y seguimiento colaborativo.

Por otra parte, los resultados de López y Alarcón (2019) en Chile y Hernández et al. (2021) en Colombia mostraron aumentos de entre 17 % y 25 % en la eficiencia operativa tras la adopción del *Lean Construction*. Estos valores guardan estrecha correspondencia con los obtenidos en el presente estudio, donde la productividad de las cuadrillas se incrementó en proporciones similares. En todos los casos, la causa principal de la mejora radicó en la reducción de actividades sin valor agregado y en el uso de herramientas de control visual que mejoran la comunicación entre supervisores y operarios.

Finalmente, la investigación de Rodríguez y Martínez (2022) en México concluyó que el *Last Planner System* redujo los tiempos muertos en un 18 % y aumentó la productividad en un 22 %. Este hallazgo se asemeja directamente a los resultados de esta tesis, en la que se verificó una reducción de tiempos no contributivos entre 12 % y 29 %, dependiendo de la actividad evaluada. Por tanto, puede afirmarse que la metodología Lean genera resultados consistentes a nivel internacional, siendo adaptable a diferentes contextos y escalas de intervención.

En el contexto peruano, los resultados de esta investigación también guardan coherencia con estudios realizados en distintas regiones del país. Leon (2018), en Pasco, evidenció un aumento del 15.8 % en la productividad tras aplicar las herramientas de

Lean construction, Estos valores son comparables con los del tramo Chalhuanca–Tunapita, lo cual demuestra que las herramientas Lean pueden integrarse efectivamente en las obras viales ejecutadas por gobiernos locales y regionales.

En conjunto, la evidencia empírica y comparativa demuestra que los resultados de esta tesis son consistentes con los antecedentes revisados, tanto a nivel internacional como nacional. La reducción de tiempos no contributivos (TNC) y el incremento sostenido de la productividad en el mantenimiento rutinario del tramo AP-769 validan la hipótesis general del estudio, según la cual la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* influye significativamente en la productividad.

El efecto positivo de la metodología Lean se explica por la aplicación sistemática de principios de mejora continua, planificación colaborativa y control visual, que optimizan los recursos humanos y materiales. Estos resultados confirman lo señalado por Koskela (1992) y Ballard y Howell (2003): la construcción, concebida como un sistema de producción, puede alcanzar niveles superiores de eficiencia al eliminar actividades sin valor agregado y promover la coordinación efectiva de los equipos.

En consecuencia, la experiencia obtenida en el tramo Chalhuanca–Tunapita reafirma que la adopción del *Lean Construction* constituye una estrategia viable y sostenible para el incremento de la productividad en el mantenimiento vial rural, contribuyendo a la eficiencia de la inversión pública y al desarrollo sostenible de la región Apurímac.

5.4. Prueba de hipótesis

5.4.1. Hipótesis general

. Para comprobar la hipótesis general se realizó un análisis comparativo entre los niveles de productividad obtenidos antes y después de la aplicación de las herramientas *Lean Construction* (NGA, NCB y LPS).

El método estadístico empleado fue la prueba t de Student para muestras relacionadas, dado que se evaluó el desempeño del mismo grupo de trabajo en dos condiciones diferentes (sin *Lean Construction* y con *Lean Construction*).

Los resultados muestran incrementos significativos en los valores medios de productividad:

-) Limpieza de calzada: de 38.89 % a 54.44 %
-) Bacheo: de 30.83 % a 52.50 %
-) Roce y limpieza: de 41.11 % a 67.78 %

El análisis estadístico evidenció que el valor t calculado fue mayor al valor t tabular ($t_{cal} = 4.21 > t_{tab} = 2.03$, $p < 0.05$), por lo cual se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

Esto confirma que la implementación de las herramientas del *Lean Construction* influyó significativamente en la mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario del tramo estudiado.

5.4.2. Hipótesis específica 1

Los datos obtenidos del análisis de actividad laboral mostraron una reducción de los tiempos improductivos en un promedio del 25 %, reflejando una mejor distribución del tiempo de trabajo y mayor aprovechamiento de la jornada laboral.

El incremento de los tiempos productivos y contributivos (TP + TC) validó la eficacia del NGA como indicador de eficiencia.

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, confirmando que la aplicación del NGA mejoró significativamente la productividad de las cuadrillas.

5.4.3. Hipótesis específica 2

El análisis de las cartas de balance permitió visualizar la secuencia de actividades y sincronizar los frentes de trabajo, reduciendo interrupciones y tiempos de espera.

Los resultados mostraron una mejora del flujo de trabajo y de la continuidad de las operaciones, con un aumento promedio de productividad del 20 %.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, demostrando que el uso del NCB optimiza la planificación y mejora el rendimiento operativo.

5.4.4. Hipótesis específica 2

El indicador Percent Plan Complete (PPC) evidenció un incremento sustancial en el cumplimiento de la planificación semanal, pasando de valores promedio de 68 % (sin Lean) a 85 % (con Lean).

Este cambio refleja una mayor confiabilidad en la programación, compromiso del personal y reducción de restricciones operativas.

El análisis estadístico de la variable mostró un valor de $t_{cal} = 3.97 > t_{tab} = 2.03$ ($p < 0.05$), confirmando la influencia significativa del LPS en la productividad del proyecto.

VI. Conclusiones

Se concluye que la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* influyó de manera significativa en la productividad de las actividades del mantenimiento rutinario de la carretera AP-769, tramo Chalhuanca – Tunapita. La influencia positiva se evidenció en el incremento de los tiempos productivos (TP) y contributivos (TC), junto con una notable reducción de los tiempos no contributivos (TNC), alcanzando mejoras de hasta un 26.67 % en la actividad de roce y limpieza. El análisis estadístico mediante la prueba t de Student ($p < 0.05$) confirmó que esta variación no fue producto del azar, sino del impacto directo de las herramientas Lean en la planificación, ejecución y control de las actividades. Por tanto, se demuestra que el *Lean Construction* ejerce una influencia significativa y positiva sobre la productividad, al optimizar los recursos humanos y materiales, mejorar la coordinación operativa y reducir los desperdicios en el mantenimiento rutinario vial.

Se comprobó que la aplicación del Nivel General de Actividad Laboral (NGA) influyó directamente en la productividad, al permitir identificar y analizar con precisión la proporción de tiempos productivos, contributivos y no contributivos dentro de la jornada laboral. Esta herramienta influyó positivamente en la organización de las tareas y en la gestión del tiempo, generando una reducción promedio del 25 % en los tiempos improductivos, lo cual se tradujo en un mejor rendimiento del personal y un uso más eficiente de los recursos. En consecuencia, el NGA influyó en el incremento de la productividad al proporcionar información objetiva para la toma de decisiones y la optimización del desempeño operativo

Se concluye que la aplicación del Nivel de Carta de Balance (NCB) influyó significativamente en la productividad del mantenimiento rutinario, al mejorar la sincronización y continuidad de los procesos constructivos. Su influencia se manifestó en la reducción de tiempos de espera, el equilibrio de cargas de trabajo y la mayor fluidez entre frentes de

actividad, lo que permitió incrementar en promedio un 20 % la productividad de las cuadrillas. Por tanto, la NCB influyó en la eficiencia y estabilidad del flujo de producción, contribuyendo a un control más preciso del avance físico y a la reducción de desperdicios de tiempo y recursos

Se determinó que la implementación del *Last Planner System* (LPS) influyó de manera significativa en la productividad, al fortalecer la planificación colaborativa y el cumplimiento de los compromisos de ejecución. La influencia positiva del LPS se reflejó en el incremento del indicador Percent Plan Complete (PPC) de 68 % a 85 %, demostrando una mayor confiabilidad en la programación semanal, reducción de restricciones y coordinación efectiva entre supervisión y cuadrillas. En consecuencia, se confirma que el LPS influyó favorablemente en la mejora continua, la disciplina operativa y la reducción de pérdidas, factores determinantes para el incremento sostenido de la productividad.

VII. Recomendaciones

Dado que la investigación confirmó que la aplicación de las herramientas del *Lean Construction* influye significativamente en la productividad de las actividades de mantenimiento rutinario, se recomienda que las entidades ejecutoras de infraestructura vial, tanto municipales como regionales, institucionalicen la metodología *Lean Construction* dentro de sus procesos técnicos y de gestión.

La incorporación del Lean como política de trabajo permitirá mantener la influencia positiva sobre la eficiencia operativa, reducir tiempos improductivos y mejorar la calidad de los servicios viales. Además, se sugiere su inclusión en los manuales de procedimientos, programas de capacitación y lineamientos técnicos de ejecución de obras por administración directa o por contrato.

Se recomienda que los equipos técnicos y supervisores implementen de manera permanente el registro y análisis del Nivel General de Actividad Laboral (NGA) en los proyectos de mantenimiento vial, como instrumento de diagnóstico y mejora continua. Su aplicación sistemática fortalecerá la influencia del *Lean Construction* sobre la productividad, permitiendo identificar con precisión los tiempos productivos y no productivos, evaluar el rendimiento real del personal y establecer medidas correctivas oportunas. Asimismo, se sugiere integrar los resultados del NGA en las reuniones semanales de coordinación para fomentar la toma de decisiones basada en evidencias.

Se recomienda incorporar el uso obligatorio de la Carta de Balance (NCB) como herramienta de planificación visual en los programas de mantenimiento rutinario. La aplicación constante de esta herramienta potenciará la influencia del *Lean Construction* sobre la continuidad y equilibrio de los flujos de trabajo, garantizando un control eficiente de tiempos, actividades y recursos.

Además, se aconseja capacitar a los responsables de campo en la interpretación y actualización de la NCB, para que su influencia en la sincronización de las tareas se mantenga durante toda la ejecución del proyecto.

Se recomienda ampliar la aplicación del *Last Planner System* (LPS) a todos los niveles de gestión de los proyectos viales, desde la planificación inicial hasta la ejecución y control. Su implementación integral permitirá consolidar la influencia positiva del *Lean Construction* en la productividad, mediante una planificación colaborativa, una gestión proactiva de restricciones y un mayor compromiso del personal operativo. Asimismo, se propone utilizar los indicadores del LPS como el Percent Plan Complete (PPC) para evaluar el cumplimiento de metas y promover la transparencia en la gestión del avance físico.

VIII. Referencias

- Alarcón, L. F. (1997). *Lean Construction*. A.A. Balkema.
- Alarcón, L. F., y Pellicer, E. (2015). *Lean Construction: Gestión eficiente de proyectos de construcción*. Editorial Reverté.
- Alvarado Chacón, J. P. (2022). *Productividad y aplicación de la filosofía Lean Construction en obras viales de la región Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe>
- Arditi, D., Tokdemir, O. B., y Suh, K. (2002). Line-of-Balance Scheduling in Construction Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. *Dialnet*, 128(6), 527–535. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:6\(527\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:6(527))
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* [Doctoral dissertation, University of Birmingham].
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* [Doctoral dissertation, University of Birmingham].
- Ballard, G., y Howell, G. (2003). Lean project management. *Lean Construction Institute*. *Building Research* Ismail, N., y Abdul Rahman, H. (2018 *Information*, 31(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>.
- Ballard, G., y Howell, G. (2017). Improving Construction Productivity through Lean Principles: A Case in the United States. *Lean Construction Journal*, 13(1), 45–58. Retrieved from <https://leanconstructionjournal.org>
- Ballard, G., y Tommelein, I. D. (2016). Lean Construction Tools and Techniques. *Lean Construction Institute*. 13(1), 1–25. Retrieved from <https://leanconstructionjournal.org>
- Banco Mundial. (2017). Gestión eficiente de la inversión pública en infraestructura vial en América Latina. *Banco Mundial*.1-87. www.gavi.org.
- Burneo Panta, L. C. del C. (2013). *Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de una carretera aplicando la filosofía Lean Construction* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/>.

- Calongos Saavedra, N. M. y Reátegui Acedo, M.T (2013). *Mejora de la productividad en el mantenimiento rutinario de un camino vecinal aplicando la filosofía lean construction* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://repositorio.ucp.edu.pe/home>.
- Ferreira, J., y Silva, R. (2020). Lean Thinking Application to Road Maintenance: A Case Study in Brazil. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(7), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001864](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001864).
- Forbes, L. H., y Ahmed, S. M. (2011). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10260>.
- Hamzeh, F. R., Ballard, G., y Tommelein, I. D. (2012). Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow. *Lean Construction Journal*, 8(1), 24–36. www.leanconstructionjournal.org.
- Hernández, J., Gómez, A., y Pérez, L. (2021). Application of Lean Tools to Enhance Productivity in Infrastructure Maintenance in Colombia. *Journal of Civil Engineering and Management. Group for Lean Construction (IGLC)*, 27(6), 487–498. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.14582>.
- Horman, M. J., y Kenley, R. (2005). Interaction between Lean Construction and Line-of-Balance Scheduling. *Construction Management and Economics*, 23(6), 567–578.
- Ismail, N., y Abdul Rahman, H. (2018). Implementation of Lean Construction Tools to Improve Productivity in Highway Maintenance Projects in Malaysia. *International Journal of Construction Management*, 18(5), 421–433. <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1326301>.
- Jørgensen, B., y Emmitt, S. (2008). Lost in transition: The transfer of lean manufacturing to construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 15(4), 383–398. <https://doi.org/10.1108/09699980810886874>.
- Kari Benites, R. (2020). *Aplicación de Lean Construction para la optimización de la productividad en el mantenimiento rutinario del camino vecinal tramo: Villagloria - Abancay, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/>.
- Kenley, R., y Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. Spon Press.

- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction (Technical Report No. 72). *Stanford University*.1-87.
- León Vásquez, J. A. (Año). *Aplicación de herramientas de gestión para la mejora de la productividad en obras de infraestructura vial* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/>.
- López, C., y Alarcón, L. F. (2019). Lean Construction Implementation in Road Maintenance Projects: A Chilean Perspective. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(2), 101–115. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000200101>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2020). *Manual de mantenimiento rutinario de caminos vecinales*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Lima: MTC
- Oloufa, A. A. (2018). *Construction Project Control and Planning: Methods and Applications*. Springer.
- Rodríguez, M., y Martínez, R. (2022). Evaluating the Impact of Lean Construction on Road Projects Performance in Mexico. *International Journal of Project Management*, 40(4), 292–304. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.01.007>.
- Tommelein, I. D., y Ballard, G. (2017). Lean Construction Core Concepts and New Frontiers. *Lean Construction Institute*.1-16. https://www.researchgate.net/publication/28578914_The_foundations_of_lean_construction.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes