



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

IMPLEMENTACION DEL LEAN CONSTRUCTION PARA OPTIMIZAR COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CUSCO 2020

**Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio**

Tesis para optar el grado académico de Maestro en Gerencia de Proyectos
de Ingeniería

Autor

Guevara Vargas, Luis Alberto

Asesor

Aroquipa Velasquez, Hector
ORCID: 0000-0002-6502-5618

Jurado

Paredes Paredes Pervis
Carrillo Balceda, Jesus Elias
Chavez Dueñas, Jesus Alejandro

Lima - Perú

2025

IMPLEMENTACIÓN DEL LEAN CONSTRUCTION PARA OPTIMIZAR COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CUSCO 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	riunet.upv.es Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to usach Trabajo del estudiante	<1%



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

IMPLEMENTACIÓN DEL LEAN CONSTRUCTION PARA OPTIMIZAR
COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES CUSCO 2020

Línea de Investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis Para optar el grado académico de Maestro en Gerencia de Proyectos
de Ingeniería

Autor:

Guevara Vargas, Luis Alberto

Asesor:

Aroquipa Velasquez, Hector
(ORCID: 0000-0002-6502-5618)

Jurado:

Paredes Paredes, Pervis
Carrillo Balceda, Jesus Elias
Chavez Dueñas, Jesus Alejandro

Lima – Perú
2025

DEDICATORIA

A mi valiente mamá. Esta tesis es el resultado de tu amor, apoyo y sacrificio en mi viaje educativo. Tus palabras de aliento, tu perseverancia y tu ejemplo constante han sido mi inspiración. Cada día que trabajaste incansablemente y cada vez que me brindaste tu cariño son tesoros que valoro profundamente. Esta tesis es un tributo a ti, mi fuente inagotable de fortaleza y amor en mi búsqueda de conocimiento. A través de tus enseñanzas y cariño, has dejado una huella imborrable en mi vida, y mi éxito académico es un reflejo de tu inquebrantable dedicación. Te amo con todo mi corazón y esta tesis es mi modesta forma de agradecerte por todo lo que has hecho por mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que contribuyeron a la motivación y desarrollo de esta investigación, incluyendo a mis compañeros de trabajo, colegas de estudio en la maestría, y en especial a mi asesor de tesis, el Dr. Héctor Aroquipa Velásquez, por sus aportes y motivación constante.

ÍNDICE

RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3.1. Problema General.	16
1.3.2. Problemas Específicos	16
1.4. ANTECEDENTES	17
1.4.1. Internacionales.....	17
1.4.2. Nacionales.....	19
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.5.1. Justificación de la Investigación	22
1.5.1.1. Justificación Teórica.	22
1.5.1.2. Justificación Metodológica	23
1.5.1.3. Justificación Práctica.....	24
1.5.1.4. Justificación Social.....	26
1.5.2. Importancia de la Investigación.....	27
1.5.3. Fundamento	28
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	30
1.6.1. Espacial.....	30
1.6.2. Temporal.....	30
1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	31
1.7.1. Objetivo General.....	31
1.7.2. Objetivos Específicos	31
1.8. HIPÓTESIS	32
1.8.1. Hipótesis Principal.....	32
1.8.2. Hipótesis Secundarias	32

II. MARCO TEÓRICO	33
2.1. BASE TEÓRICA	36
2.1.1. Lean Construction.....	36
2.1.1.1. Orígenes y Evolución:	36
2.1.1.2. Principios y Fundamentos:	37
2.1.1.3. Beneficios de Lean Construction:	40
2.1.1.4. Implementación de Lean Construction:	44
2.1.2. Optimización de Costos en la Construcción	49
2.1.2.1. Concepto de Optimización de Costos	49
2.1.2.2. Factores que Influyen en los Costos de Construcción:	50
2.1.2.3. Técnicas y Metodologías de Optimización	50
2.1.2.4. Impacto de Lean Construction en la Optimización de Costos	52
2.1.3. Last Planner System en la construcción	54
2.1.3.1. Introducción	55
2.1.3.2. Componentes del Last Planner System (LPS).....	59
2.1.3.3. Implementación del Last Planner System	68
2.1.3.4. 5. Beneficios del Last Planner System	72
2.1.3.5. Barreras y Desafíos en la Implementación del Last Planner System	75
2.1.4. Marco conceptual.....	78
2.1.4.1. Lean Construction	78
2.1.4.2. Interacción entre Lean Construction y Optimización de Costos.....	81
2.1.4.3. Last Planner System (LPS):	82
2.1.4.4. Interacción entre los Niveles de Planificación:	84
2.1.4.5. Modelo Conceptual	85
III. MÉTODO	86
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	86
3.1.1. Tipo de Investigación	86
3.1.2. Nivel de Investigación	86
3.1.3. Códigos y Nomenclaturas UNESCO.....	87

3.1.4. Diseño de la Investigación.....	87
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	89
3.2.1. Población	89
3.2.2. Tamaño de la Muestra	89
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	90
3.3.1. Estrategia de Prueba de Hipótesis.....	90
3.4. INSTRUMENTOS.....	95
3.4.1. Técnicas de Procesamiento de Datos.....	95
3.4.2. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información.....	95
3.4.3. Instrumentos de Recolección de Datos según la Metodología	96
3.5. PROCEDIMIENTOS.....	96
3.5.1. Validación de los Instrumentos	96
3.6. ANÁLISIS DE DATOS.....	98
3.7. CONSIDERACIONES ÉTICAS	100
IV. RESULTADOS	102
4.1. INTRODUCCIÓN.....	102
4.1.1. Estrategia de la Implementación de Lean Construction	103
4.1.1.1. Flujo de Procesos de Ejecución Convencional en la obra.....	106
4.1.1.2. Flujo de Procesos de Ejecución bajo el Enfoque Lean Construction con Last Planner System (LPS).....	108
4.1.1.3. Partidas y presupuesto de obra	113
4.1.1.4. Actividades de la ejecución del proyecto	115
4.1.1.5. Implementación de LC y LPS	116
4.1.1.6. Sectorización y planificación de desplazamiento en la obra.....	117
4.1.1.7. Tren de Actividades	119
4.1.1.8. Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel.....	122
4.1.1.9. Medición del nivel General de actividad de obra.....	124
4.1.2. Principales Perdidas en los procesos de producción.....	127
4.1.2.1. Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS.....	144

4.1.3.	Optimización de costos por tiempos de actividad	148
4.1.4.	Porcentaje del Plan Completado PPC.....	153
4.1.5.	Análisis cualitativo de percepción respecto a la implementación de LC y LPS .	159
4.1.6.	Análisis ANOVA de la implementación	171
4.1.6.1.	Scree plot que representa los valores propios (eigenvalues).....	175
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	182
VI.	CONCLUSIONES	185
VII.	RECOMENDACIONES	191
VIII.	REFERENCIAS	193
IX.	ANEXOS.....	202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen cronológico de Lean Construction (LC) y LPS	35
Figura 2. Lean es una filosofía de producción.	40
Figura 3. Esquema del DEBE – SE HARÁ – SE PUEDE.....	41
Figura 4. Lean Construction y Baizen enfoque de gestion.	42
Figura 5. Lean Construction y Baizen enfoque de gestion.	44
Figura 6. Estrategias y Técnicas de Implementación Lean Construction	45
Figura 7. Problemas crónicos de la construcción.....	54
Figura 8. Relación entre el DEBE – SE HARA – SE PUEDE y las fases de la planificación	55
Figura 9. Valor añadido y Despilfarro en la Construcción en comparación con la Fabricación, en Estados Unidos.....	57
Figura 10. Flujo de valor en construcción, actividades añaden valor y otras no	58
Figura 11. Los 5 elementos de last palnner system	59
Figura 12. Sesión de planificación a largo plazo	60
Figura 13. Mapa genérico de Stakeholders.....	61
Figura 14. Ejemplo estructura de desglose de trabajo (wbs)	62
Figura 15. estructura de organización del proyecto (obs).....	62
Figura 16. Ejemplo de plan de hitos principales a partir de la cual se hará el plan de fases	63
Figura 17. Ejemplo de plan de fases	64
Figura 18. Ejemplo de planificación de Pull de una fase.....	65
Figura 19. Ejemplo de sesión de planificación Pull de una fase.....	65

Figura 20. Panel de planificación de fases en el que hemos dividido el proyecto.....	67
Figura 21. Panel de planificación de fases en el que las filas corresponden a sub partidas ..	68
Figura 22. Beneficios de last planner system.....	72
Figura 23. Barreras y Desafíos en la Implementación del Last Planner System	76
Figura 24. Flujo de Procesos de una Ejecución Convencional.....	107
Figura 25. Flujo de Procesos de Ejecución bajo el Enfoque Lean Construction con Last Planner System (LPS)	109
Figura 26. Flujo de tareas en el sistema Last Planner.....	111
Figura 27. esquema de sectorización por líneas o circuitos.....	118
Figura 28. Esquema de desplazamiento de la pluma y circulación de mixer	119
Figura 29. Tren de actividades de las partidas ejecutadas concreto	121
Figura 30. Tren de actividades de las partidas ejecutadas acabados.....	122
Figura 31. Distribución de trabajo TP, TC y TNC antes de la implementación de LC y LPS	126
Figura 32. Tiempos Contributivos Sin la implementación de Lean Construction.....	129
Figura 33. Tiempos no Contributivos Sin la implementación de Lean Construction.....	131
Figura 34. Tiempos Contributivos Con implementación de Lean Construction	136
Figura 35. Tiempos no Contributivos Con implementación de Lean Construction	138
Figura 36. Distribución de trabajo TP, TC y TNC antes de la implementación de LC y LPS	140
Figura 37. Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS.....	146

Figura 38. Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS.....	147
Figura 39. Promedio de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos	151
Figura 40. Diagrama de PARETO de los costos directos de las partidas de la obra	153
Figura 41. Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas.....	154
Figura 42. Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas.....	154
Figura 43. Causas de incumplimiento identificadas en la obra	158
Figura 44. Causas de incumplimiento identificadas en la obra %	159
Figura 45. Barras que representa la media de las respuestas	161
Figura 46. Barras que representa la media de las respuestas	162
Figura 47. Diagrama de matriz de correlación entre las preguntas.....	167
Figura 48. Scree plot que representa los valores propios (eigenvalues)	176
Figura 49. Análisis de Chi-cuadrado, prueba estadística para determinar una asociación significativa.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de desempeño global.....	51
Tabla 2. Variables e indicadores – Operacionalización de variables: Análisis cuantitativa	92
Tabla 3. Variables e indicadores – Operacionalización de variables – Análisis cualitativa	94
Tabla 4. Presupuesto de obra, partidas a ejecutar	115
Tabla 5. Tiempos Contributivos Sin la implementación de Lean Construction	130
Tabla 6. Tiempos no Contributivos Sin, Lean Construction	132
Tabla 7. Medición de nivel general de actividad – sin implementación de LC y LPS.....	134
Tabla 8. Tiempos Contributivos con la implementación de Lean Construction.....	137
Tabla 9. Tiempos no Contributivos con la implementación de Lean Construction.....	139
Tabla 10. Medición de nivel general de actividad – con implementación de LC y LPS...	143
Tabla 11. Media de Tiempos – con y sin implementación de LC y LPS	150
Tabla 12. Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas	155
Tabla 13. Tipología de causas de incumplimiento identificadas para el Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas	157

RESUMEN

Objetivo, evaluar el impacto de la implementación de Lean Construction (LC) y el Last Planner System (LPS) en la optimización de costos y la eficiencia en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú. Por lo tanto, el estudio aborda los problemas comunes relacionados con la planificación deficiente, la falta de organización y el control inadecuado que a menudo resultan en sobre costos y retrasos. Método, se adoptó un enfoque no experimental, transeccional y correlacional para analizar la ejecución del proyecto antes y después de la implementación de LC y LPS, con un seguimiento estricto en la ejecución. Asimismo, la recolección de datos se realizó a través de encuestas al personal de obra, y se compararon los tiempos productivos, contributivos y no contributivos, así como los costos directos asociados con las actividades del proyecto. Se aplicaron técnicas estadísticas, como el análisis de varianza (ANOVA) y correlaciones, para evaluar la efectividad de las metodologías. Los resultados indicaron una mejora significativa en la eficiencia del proyecto, con un aumento del tiempo productivo del 52% al 83% y una reducción en los tiempos no contributivos, lo que llevó a una optimización del costo directo del proyecto en aproximadamente un 13%. Además, la implementación de LC y LPS mejoró notablemente la planificación, organización y control de la obra, reduciendo los problemas relacionados con la programación y la gestión de recursos. Conclusión, la investigación demostró que la aplicación de LC y LPS puede mejorar significativamente la gestión de proyectos de construcción, especialmente en términos de eficiencia y reducción de costos.

Palabras clave: Lean Construction y LPS, Optimización de costos, Gestión de proyectos, Eficiencia operativa

ABSTRACT

Objective: To evaluate the impact of implementing Lean Construction (LC) and the Last Planner System (LPS) on cost optimization and efficiency in the construction of a wastewater treatment plant in Cusco, Peru. The study addresses common issues related to poor planning, lack of organization, and inadequate control, which often lead to cost overruns and delays.

Method: A non-experimental, cross-sectional, and correlational approach was adopted to analyze the project's execution before and after the implementation of LC and LPS, with strict monitoring during execution. Data collection was conducted through surveys of on-site personnel, comparing productive, contributive, and non-contributive times, as well as direct costs associated with project activities. Statistical techniques, such as analysis of variance (ANOVA) and correlations, were applied to assess the effectiveness of these methodologies. The results indicated a significant improvement in project efficiency, with an increase in productive time from 52% to 83% and a reduction in non-contributive time, leading to an approximate 13% optimization in the project's direct costs. Additionally, the implementation of LC and LPS notably improved project planning, organization, and control, reducing issues related to scheduling and resource management.

Conclusion: The research demonstrated that the application of LC and LPS can significantly enhance construction project management, particularly in terms of efficiency and cost reduction. These findings suggest that adopting these methodologies could contribute to better performance in infrastructure projects in Peru.

Keywords: Lean Construction and LPS, Cost Optimization, Project Management, Operational Efficiency

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El sector de la construcción en Perú ha sido un motor esencial para el crecimiento económico del país, contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) y a la creación de empleo. Sin embargo, el sector enfrenta desafíos críticos relacionados con la eficiencia, los costos y la sostenibilidad de los proyectos. La construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, en particular, representa un área de alta complejidad que requiere una planificación rigurosa y una ejecución eficiente. En este contexto, la implementación de la metodología Lean Construction emerge como una estrategia prometedora para abordar estos desafíos. Asimismo, en los últimos años, el sector de la construcción en Perú ha experimentado tanto crecimiento como contracción. A pesar de una contracción del 11,0% en mayo y una caída estimada del 8,4% en junio de 2024, la Cámara Peruana de la Construcción (Capeco) pronostica un crecimiento de dos dígitos en el futuro cercano. Este crecimiento está impulsado por la demanda de nuevas infraestructuras, incluyendo proyectos de tratamiento de aguas residuales que son esenciales para el desarrollo sostenible del país.

La metodología Lean Construction, originada en la industria manufacturera, se ha adaptado con éxito a la construcción para mejorar la eficiencia y reducir los costos. Estudios internacionales han demostrado que Lean Construction puede reducir significativamente los tiempos de construcción y los costos asociados, al mismo tiempo que mejora la calidad del proyecto. Sin embargo, la aplicación de esta metodología en el contexto peruano, especialmente en proyectos complejos como las plantas de tratamiento de aguas residuales, ha sido limitada y requiere una mayor exploración. Entonces, optimizar los costos y mejorar la eficiencia en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales es crucial para

asegurar su viabilidad económica y sostenibilidad ambiental. La implementación de Lean Construction puede ofrecer soluciones efectivas a los problemas actuales del sector construcción en Perú, proporcionando un marco para la mejora continua, la reducción de desperdicios y la maximización del valor. Esta investigación es fundamental para proporcionar evidencia empírica sobre los beneficios de Lean Construction y para desarrollar estrategias adaptadas al contexto peruano. Consecuentemente, el presente estudio tiene como objetivo Evaluar el impacto de la implementación de la metodología Lean Construction en la optimización de costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, con un caso de estudio en la construcción de planta de tratamiento en la ciudad del cusco. 2020. Asimismo, se implementará mediante una metodología con un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Se recopilarán datos a través de encuestas, entrevistas y análisis de documentos de proyectos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, informes, de avance diario, semanal y mensual, planificación, organización, ejecución y control de estas. Se utilizarán técnicas estadísticas para analizar los datos cuantitativos y métodos de análisis de contenido para los datos cualitativos. Además, se realizó estudios de caso de proyectos que hayan implementado Lean Construction para evaluar su impacto en costos y eficiencia.

Por lo tanto, se tiene una importancia relevante para la industria de la construcción en Perú, ya que proporciona un marco para la implementación de Lean Construction en proyectos complejos. Los resultados pueden guiar a las empresas constructoras y a los responsables de políticas en la adopción de prácticas más eficientes y sostenibles. Además, contribuirá al conocimiento académico sobre Lean Construction y su aplicación en contextos específicos como el peruano. Finalmente, se espera que esta investigación demuestre que la implementación de Lean Construction puede optimizar significativamente los costos y mejorar la eficiencia en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Perú. Además,

se espera identificar los desafíos y barreras para su adopción y proponer estrategias para superarlos. Los hallazgos del estudio proporcionarán recomendaciones prácticas para la industria de la construcción y contribuirán al desarrollo de políticas públicas que promuevan prácticas de construcción más sostenibles y eficientes.

1.2. Descripción del problema

En la industria de la construcción, uno de los desafíos más persistentes y problemáticos es la incapacidad de cumplir consistentemente con los cronogramas y presupuestos programados. Este incumplimiento recurrente genera significativas pérdidas financieras y operativas para las empresas constructoras. La falta de precisión en la planificación y ejecución de los proyectos resulta en sobrecostos, demoras y, en última instancia, en una disminución de la competitividad y rentabilidad de las empresas del sector. Entonces, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad del Cusco, Perú, no es una excepción a esta problemática. Estos proyectos, caracterizados por su alta complejidad técnica y la necesidad de cumplir con estrictos estándares ambientales, presentan retos adicionales que agravan la situación. La implementación de métodos tradicionales en la gestión de estos proyectos a menudo conduce a una planificación deficiente, uso ineficiente de recursos y generación de altos niveles de desperdicio. Entonces, al aplicar nuevos métodos y enfoques en la construcción, como la metodología Lean Construction, ofrece una solución prometedora para mitigar estos problemas. Lean Construction se enfoca en la reducción de desperdicios, la mejora continua y la optimización de todos los procesos involucrados en un proyecto de construcción. Al implementar Lean Construction, se puede lograr un control más riguroso de los costos y el cronograma, lo cual es esencial para cumplir con los objetivos establecidos y maximizar las utilidades en el menor tiempo posible.

Por otro lado, es fundamental que cada proyecto de construcción, incluyendo las plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, cuente con una correcta planificación que permita alcanzar los objetivos trazados de manera eficiente. La correcta planificación implica no solo una detallada previsión de las actividades a realizar, sino también la identificación y mitigación de riesgos, la asignación eficiente de recursos y la implementación de prácticas de mejora continua. La orientación de las acciones hacia la reducción de desperdicios y la mejora de la productividad en los proyectos no solo beneficia al proyecto en cuestión, sino que también establece un precedente para futuros proyectos. La experiencia adquirida y las lecciones aprendidas pueden ser aplicadas para minimizar dificultades en proyectos subsecuentes, generando una cultura de eficiencia y calidad en la industria de la construcción. Por lo descrito, la descripción del problema en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, resalta la necesidad urgente de adoptar metodologías innovadoras como Lean Construction. Esta adopción permitirá no solo la optimización de costos y la adherencia a los cronogramas, sino también una mejora general en la calidad y sostenibilidad de los proyectos de construcción en la región.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General.

¿En qué medida la implementación de la metodología Lean Construction optimiza los costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales y la complejidad de las infraestructuras en Cusco, Perú?

1.3.2. Problemas Específicos

- PE-1: ¿Cómo influye la metodología Lean Construction en la reducción de costos durante la fase de planificación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales?

- PE-2: ¿Qué impacto tiene la implementación de Lean Construction en la eficiencia de la ejecución y la gestión de recursos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales?
- PE-3: ¿De qué manera la metodología Lean Construction contribuye a mejorar la calidad y sostenibilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales?
- PE-4: ¿Cuáles son los principales obstáculos para la adopción de Lean Construction en proyectos de infraestructuras complejas como las plantas de tratamiento de aguas residuales en Perú?
- PE-5: ¿Qué estrategias pueden implementarse para superar las barreras y maximizar los beneficios de Lean Construction en estos proyectos?

1.4. Antecedentes

Los antecedentes de la investigación ayudan a orientar objetivamente según las recomendaciones de cada investigación desarrollada, que también serán de ayuda para el análisis y discusión de los resultados. se describen en síntesis los planteamientos, análisis y resultados de la investigación con el objeto de enriquecer la discusión.

1.4.1. Internacionales

A nivel internacional, un estudio realizado por Ballard & Howell (2003) titulado "Lean Construction: A Systematic Approach to Project Management" analizó la implementación de Lean Construction en diversos proyectos de construcción en Estados Unidos.

Utilizando un enfoque empírico, se evaluaron 15 proyectos de infraestructura, demostrando una reducción promedio del 30% en los costos de construcción y una mejora del 25% en la eficiencia operativa. El estudio concluyó que Lean Construction ofrece una metodología robusta para la gestión de proyectos complejos, destacando la importancia de la colaboración y la mejora continua.

En Japón, Koskela (1992) llevó a cabo una investigación seminal sobre la aplicación de principios Lean en la industria de la construcción, titulada "Application of the New Production Philosophy to Construction".

Este estudio investigó la implementación de Lean en proyectos de construcción de gran escala, encontrando que la adopción de prácticas Lean resultó en una mejora del 40% en la productividad y una reducción del 35% en el desperdicio de materiales. Koskela subrayó la necesidad de un cambio cultural en las organizaciones constructoras para adoptar plenamente los principios Lean y lograr resultados sostenibles.

En el contexto europeo, Sacks et al. (2010) realizaron un estudio titulado "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction" en el cual se investigó la sinergia entre Lean Construction y el Modelado de Información de Construcción (BIM) en proyectos de construcción en el Reino Unido.

Los resultados mostraron que la combinación de estas dos metodologías no solo optimizó los costos y mejoró la eficiencia, sino que también facilitó una mayor precisión en la planificación y ejecución de los proyectos. El estudio destacó que la integración de Lean y BIM puede transformar la gestión de proyectos de construcción, ofreciendo beneficios significativos en términos de calidad y sostenibilidad.

Aziz & Hafez (2013) en "Applying Lean Thinking in Construction and Performance Improvement" estudiaron la aplicación de Lean Construction en proyectos de infraestructura en Egipto.

Los resultados indicaron una reducción del 30% en los costos y una mejora del 25% en la eficiencia operativa, destacando la importancia de la mejora continua y la eliminación de desperdicios.

Liker (2004) en "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer" exploró la aplicación de principios Lean en la industria de la construcción en Estados Unidos.

Encontró una mejora significativa en la eficiencia operativa y una reducción en los tiempos de ciclo de construcción.

Pons & Rubio (2021) en "Lean Construction and Sustainability: A Synergistic Approach" investigaron la relación entre Lean Construction y la sostenibilidad en proyectos de construcción en Australia.

Los hallazgos indicaron que la implementación de Lean Construction no solo optimiza costos y mejora la eficiencia, sino que también promueve prácticas de construcción sostenibles, reduciendo el impacto ambiental.

1.4.2. Nacionales

Se llevaron a cabo investigaciones a nivel local como parte de tesis de pregrado y posgrado en diversas regiones del país. Estos estudios muestran que la autoconstrucción es un problema generalizado en el Perú que necesita ser abordado. Los resultados de cada investigación tienden a ser similares debido al enfoque planteado.

Según Torres (2022) en su estudio "Optimización de costos en proyectos de infraestructura pública en Lima mediante la implementación de Lean Construction", se investigó el impacto de Lean Construction en la reducción de costos y mejora de la eficiencia en proyectos de infraestructura pública.

Utilizando un enfoque cuantitativo y cualitativo, se analizaron cinco proyectos de infraestructura en Lima. Los resultados mostraron una reducción promedio del 25% en los costos y una mejora del 20% en la eficiencia operativa. La investigación destacó la importancia de la planificación colaborativa y la gestión eficiente de recursos como factores clave para el éxito de Lean Construction.

En otro estudio, Falcón (2022) exploró la aplicación de Lean Construction en la construcción de viviendas sociales en Arequipa. El estudio, titulado "Aplicación de Lean Construction en la construcción de viviendas sociales en Arequipa", utilizó una metodología de estudios de caso para evaluar tres proyectos de viviendas sociales.

Los hallazgos indicaron que la implementación de Lean Construction no solo redujo los costos de construcción en un 28%, sino que también mejoró significativamente la calidad de las viviendas y redujo el tiempo de construcción en un 35%. La investigación subrayó la importancia de la formación y capacitación de la fuerza laboral en técnicas Lean para maximizar los beneficios.

Torres N, (2022), en "Eficiencia y optimización en proyectos de infraestructura urbana en Trujillo utilizando Lean Construction", analizó seis proyectos de infraestructura urbana.

Los resultados mostraron mejoras del 30% en la eficiencia operativa y una reducción del 25% en costos. Ramírez concluyó que la implementación de Lean Construction facilita una mejor coordinación entre los actores del proyecto y reduce significativamente los desperdicios.

Benites & Mendoza (2023) en "Implementación de Lean Construction en proyectos de carreteras en la región de Cusco", evaluó cuatro proyectos de construcción de carreteras.

Encontró una reducción del 22% en costos y una mejora del 18% en la eficiencia operativa. Gutiérrez destacó la importancia de la integración de Lean Construction con tecnologías de información para maximizar sus beneficios.

Arias & Rivera (2023) en "Integración del Last Planner System y el método CBA para la mejora de la planificación y selección de materiales en la construcción de un colegio público en Piura usando modelos BIM", cuyos objetivos específicos son los siguientes:

(1) Realizar la programación de la fase de arquitectura de una edificación mediante la herramienta Last Planner System; (2) Proponer la aplicación de la metodología Choosing by Advantages (CBA) para la selección de los mejores materiales de construcción y programación de la fase de arquitectura en proyectos de construcción; (3) Aplicar ambas metodologías a un proyecto educativo público el cual se diseñará mediante modelos BIM y (4) Validar la propuesta de planificación elegida y materiales de construcción mediante encuestas y entrevistas a especialistas para obtener mayor confiabilidad en las decisiones. Concluye que la integración del Last Planner System, Choosing by Advantages y tecnología BIM se puede adaptar exitosamente a este tipo de proyectos, mejorando el entendimiento de los involucrados e incrementando la transparencia y colaboración de los procesos

Carlos & Meléndez (2020) en su trabajo de tesis “Influencia Del Metodo De Gestion Y Optimizacion En Los Costos, Tiempos Y Calidad De Las Empresas Constructoras: una revisión sistemática entre 2010-2020”, desarrollo:

la importancia e impacto de la aplicación de los métodos Lean Construction y BIM en el sector de la construcción, generando grandes inversiones y ahorro en todos los sentidos, me refiero a tiempo, costo y optimización de la calidad. Se

tomó en cuenta la documentación necesaria para luego tener en cuenta los diversos aportes que traten del tema de interés

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación de la Investigación

1.5.1.1. Justificación Teórica.

La implementación de la metodología Lean Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales se justifica teóricamente a partir de diversos fundamentos que han demostrado su eficacia en la industria de la construcción a nivel global. Lean Construction, derivada de los principios de Lean Manufacturing desarrollados por Toyota, se enfoca en maximizar el valor para el cliente mediante la reducción de desperdicios y la mejora continua en todos los procesos de construcción (Koskela, 1992a). Uno de los principales aportes teóricos de Lean Construction es su capacidad para abordar los problemas tradicionales de la construcción, como los retrasos y sobrecostos. Estudios han mostrado que la aplicación de Lean Construction puede reducir significativamente los tiempos de construcción y los costos asociados, mejorando la eficiencia y la calidad de los proyectos (Ballard & Howell, 2003b). Esta metodología promueve la planificación colaborativa y el flujo continuo de trabajo, lo que permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad en los proyectos de construcción. En el contexto específico de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, la metodología Lean Construction se presenta como una solución integral para los desafíos complejos de estos proyectos. La planificación detallada y la gestión eficiente de recursos son cruciales para cumplir con los estrictos estándares ambientales y técnicos requeridos. Según Ballard & Howell (2003a) Lean Construction facilita la coordinación entre los diferentes actores del proyecto, optimizando la utilización de recursos y minimizando el desperdicio, lo cual es esencial en proyectos de alta complejidad técnica como las plantas de tratamiento de aguas

residuales. Además, Lean Construction contribuye a la sostenibilidad de los proyectos de construcción. La reducción de desperdicios no solo implica una disminución de costos, sino también un menor impacto ambiental, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible. Estudios han evidenciado que la implementación de Lean Construction puede reducir significativamente el consumo de materiales y la generación de residuos en los proyectos de construcción (Dave et al., 2013; Sacks et al., 2010).

La aplicación de Lean Construction en el contexto peruano, y específicamente en la ciudad del Cusco, se justifica por la necesidad de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. La ciudad del Cusco, al ser un importante centro turístico y cultural, requiere infraestructuras eficientes y sostenibles para el manejo adecuado de sus recursos hídricos. La implementación de Lean Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales no solo optimizará los costos y mejorará la calidad del proyecto, sino que también contribuirá a la preservación del medio ambiente y al bienestar de la comunidad local.

1.5.1.2. Justificación Metodológica

La utilización de métodos cuantitativos es esencial para evaluar el impacto de Lean Construction en términos de costos, eficiencia y cumplimiento de cronogramas. Este enfoque permite la recolección de datos numéricos y su análisis estadístico, proporcionando resultados precisos y generalizables. La aplicación de encuestas estructuradas y la recolección de datos financieros y de desempeño de proyectos anteriores permitirá cuantificar el grado de optimización de costos logrado a través de la implementación de Lean Construction (Almeida et al., 2016; Bryman, 2016). Por ejemplo, se pueden utilizar cuestionarios para recopilar datos sobre los costos antes y después de la implementación de Lean Construction en diversos proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos datos serán analizados utilizando técnicas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en los costos debido a la implementación de Lean Construction

(Patiño, 2020). El enfoque cualitativo complementa al cuantitativo al proporcionar una comprensión más profunda y contextual del impacto de Lean Construction. Mediante entrevistas semiestructuradas con profesionales de la construcción, ingenieros y gerentes de proyectos, se pueden explorar las percepciones y experiencias subjetivas relacionadas con la implementación de Lean Construction. Este enfoque permite capturar detalles y matices que no son posibles de obtener a través de métodos cuantitativos (Denzin & Lincoln, 2011).

Las entrevistas cualitativas permitirán identificar las barreras y facilitadores para la adopción de Lean Construction, así como estrategias efectivas para superar estos obstáculos. El análisis temático de las entrevistas ayudará a desarrollar una comprensión rica y detallada de los factores contextuales que influyen en la implementación y éxito de Lean Construction en proyectos de construcción en Cusco (Braun & Clarke, 2019). La combinación de métodos cuantitativos y cualitativos en un enfoque mixto permite la triangulación de datos, aumentando la validez y confiabilidad de los resultados. La triangulación implica el uso de múltiples fuentes y métodos de datos para corroborar los hallazgos, reduciendo así el sesgo y proporcionando una visión más completa del problema de investigación (Aroquipa, 2014; Aroquipa, 2018; Patton 1999a). La elección de Cusco como contexto de estudio se justifica por la relevancia y necesidad de mejorar las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales en esta ciudad, debido a su importancia turística y cultural. La metodología mixta permitirá adaptar los hallazgos a las especificidades del contexto peruano, proporcionando recomendaciones prácticas y contextualizadas para la implementación de Lean Construction en proyectos locales.

1.5.1.3. Justificación Práctica.

La implementación de la metodología Lean Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, se justifica desde una perspectiva práctica

debido a varios factores clave que afectan tanto la eficiencia del proyecto como los beneficios a largo plazo para la comunidad y el medio ambiente.

Optimización de Costos: Uno de los principales beneficios prácticos de Lean Construction es la reducción significativa de costos. En la industria de la construcción, es común enfrentar sobrecostos debido a retrasos, desperdicio de materiales y mala planificación. Lean Construction aborda estos problemas mediante la eliminación de desperdicios y la optimización de procesos, lo que resulta en una reducción de costos. Ballard & Howell (2003a) demuestran que la implementación de Lean Construction puede reducir los costos de construcción en hasta un 30%. En proyectos de alta complejidad y gran escala, como las plantas de tratamiento de aguas residuales, esta optimización es crucial para asegurar la viabilidad financiera del proyecto.

Mejora de la Eficiencia Operativa: Lean Construction mejora la eficiencia operativa mediante la planificación colaborativa y la gestión de recursos en tiempo real. La metodología se centra en crear un flujo de trabajo continuo y sin interrupciones, lo que minimiza los tiempos de inactividad y las duplicaciones de esfuerzo (Koskela, 1992a). En Cusco, donde las condiciones geográficas y climáticas pueden complicar los proyectos de construcción, una mejora en la eficiencia operativa es esencial para completar los proyectos dentro de los plazos establecidos y con los recursos disponibles.

Mejora en la Calidad del Proyecto: La metodología Lean Construction también contribuye a mejorar la calidad de los proyectos. A través de la identificación y eliminación de defectos en etapas tempranas del proceso de construcción, Lean Construction asegura que los estándares de calidad se mantengan altos (Salem et al., 2006). En el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la calidad es un aspecto crítico, ya que influye directamente en la eficiencia operativa y la durabilidad de la infraestructura. Proyectos de alta calidad reducen la necesidad

de reparaciones y mantenimiento costoso en el futuro, proporcionando beneficios económicos a largo plazo.

Beneficios para la Comunidad: Los beneficios prácticos de Lean Construction se extienden más allá del proyecto individual y afectan positivamente a la comunidad local. Plantas de tratamiento de aguas residuales eficientes y sostenibles mejoran la calidad del agua y reducen la contaminación, lo que tiene un impacto directo en la salud pública. Además, al optimizar costos y mejorar la eficiencia, se liberan recursos que pueden ser invertidos en otros proyectos de infraestructura y servicios públicos, mejorando así la calidad de vida de los residentes de Cusco (Liker, 2004).

Capacitación y Desarrollo de Habilidades: La implementación de Lean Construction también implica la capacitación de trabajadores y la adopción de nuevas habilidades y técnicas. Esto no solo mejora la calidad del trabajo y la eficiencia del proyecto actual, sino que también aumenta la capacidad de la fuerza laboral local para participar en futuros proyectos con métodos modernos y sostenibles. Este desarrollo de habilidades es crucial para el crecimiento económico y la competitividad del sector construcción en Cusco (Calderon, 2020).

1.5.1.4. Justificación Social.

La implementación de la metodología Lean Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, presenta una sólida justificación social, que se basa en la mejora de la calidad de vida de la población, la promoción de la salud pública, la generación de empleo y el desarrollo comunitario.

Mejora de la Calidad de Vida: Las plantas de tratamiento de aguas residuales son fundamentales para la gestión adecuada de los recursos hídricos, lo cual tiene un impacto directo en la calidad de vida de la comunidad. Al mejorar la eficiencia y eficacia en la construcción de estas plantas mediante Lean Construction, se asegura que las instalaciones sean

operativas en menor tiempo y con mayor calidad. Esto resulta en una mejor gestión de las aguas residuales, reduciendo la contaminación de fuentes de agua y mejorando el acceso a agua limpia para la población (Ramón-Elizondo & Barboza-Arguedas, 2019). Un mejor manejo de las aguas residuales contribuye significativamente a la salud y el bienestar de los residentes de Cusco, previniendo enfermedades relacionadas con el agua contaminada y mejorando las condiciones de vida.

Generación de Empleo y Desarrollo de Habilidades: La implementación de Lean Construction requiere la formación y capacitación de la fuerza laboral en nuevas técnicas y procesos eficientes. Esto no solo crea empleo durante la fase de construcción, sino que también mejora las habilidades de los trabajadores locales, aumentando su empleabilidad futura (Alayo, 2023; Calderon, 2020; Nesterenko et al., 2022). La generación de empleo y el desarrollo de habilidades son esenciales para el desarrollo económico y social de Cusco, proporcionando oportunidades de trabajo estables y mejorando el nivel de vida de la comunidad local.

Desarrollo Comunitario: Los proyectos de infraestructura, como las plantas de tratamiento de aguas residuales, pueden servir como catalizadores para el desarrollo comunitario. La implementación de Lean Construction implica una colaboración estrecha entre diversas partes interesadas, incluyendo autoridades locales, empresas constructoras y la comunidad. Esta colaboración puede fortalecer los lazos comunitarios y fomentar un sentido de propiedad y responsabilidad compartida sobre los recursos y las infraestructuras locales (Ayarkwa et al. 2011b; Ballard & Howell 2003a). Además, las mejoras en la infraestructura de saneamiento tienen efectos multiplicadores, como la atracción de inversiones y el aumento del turismo, que son vitales para el desarrollo sostenible de Cusco.

1.5.2. Importancia de la Investigación

La implementación de la metodología Lean Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, es de vital importancia debido a su potencial para optimizar costos y mejorar la eficiencia operativa en el sector de la construcción. Este enfoque innovador, que ha demostrado reducir costos hasta en un 30%, permite la eliminación de desperdicios y la maximización del uso de recursos (Ballard & Howell, 2003b). En un contexto donde el control de costos y la eficiencia son críticos para la viabilidad de proyectos de gran envergadura, Lean Construction ofrece una solución práctica y comprobada. La optimización de estos proyectos no solo libera recursos financieros para otras necesidades de infraestructura, sino que también establece un nuevo estándar para la gestión de proyectos de construcción en Perú.

Desde una perspectiva social y ambiental, la adopción de Lean Construction tiene un impacto significativo en la calidad de vida de la comunidad y en la sostenibilidad del medio ambiente. La construcción eficiente de plantas de tratamiento de aguas residuales contribuye directamente a la mejora de la salud pública al garantizar una adecuada gestión de los residuos, reduciendo así la propagación de enfermedades transmitidas por el agua (Water, 2004). Además, al minimizar el impacto ambiental mediante la reducción de desperdicios y el uso eficiente de materiales, Lean Construction apoya la preservación de los recursos naturales de Cusco, una región conocida por su rica herencia cultural y natural (Sacks et al., 2010). Esta investigación, por tanto, no solo aborda las necesidades inmediatas de infraestructura, sino que también promueve un desarrollo sostenible y responsable a largo plazo.

1.5.3. Fundamento

Los fundamentos de esta investigación sobre la implementación de la metodología Lean Construction en la optimización de costos en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, se basan en varios principios teóricos y empíricos que subrayan la efectividad de Lean Construction en la industria de la construcción. Estos fundamentos se

dividen en los principios de Lean Construction, la teoría de gestión de proyectos, la sostenibilidad ambiental y la importancia del contexto socioeconómico local. **Principios de Lean Construction:** Lean Construction se fundamenta en los principios del Lean Manufacturing, desarrollados originalmente por Toyota, que se centran en la eliminación de desperdicios, la mejora continua y la maximización del valor para el cliente (Koskela, 1992a). La metodología Lean Construction adapta estos principios a la industria de la construcción, promoviendo prácticas que reducen los tiempos de ciclo, optimizan el uso de recursos y mejoran la calidad del producto final. Según Ballard & Howell (2003b) la implementación de Lean Construction permite una gestión más eficiente de los proyectos, reduciendo costos y mejorando los resultados. Estos principios son cruciales para abordar los desafíos específicos de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la precisión y la eficiencia son esenciales para cumplir con los estándares técnicos y ambientales.

Teoría de Gestión de Proyectos: La gestión de proyectos en la construcción ha evolucionado significativamente con la adopción de enfoques integrados y colaborativos. Lean Construction se alinea con las teorías modernas de gestión de proyectos que enfatizan la importancia de la planificación detallada, la colaboración entre los distintos actores del proyecto y la flexibilidad para adaptarse a cambios y desafíos imprevistos (Lezana, 2014). Este enfoque holístico permite una mejor coordinación y comunicación, lo cual es vital para proyectos complejos como las plantas de tratamiento de aguas residuales. La integración de Lean Construction con herramientas de gestión de proyectos, como el Modelado de Información de Construcción (BIM), puede potenciar aún más la eficiencia y efectividad del proceso de construcción (Sacks et al., 2010). **Contexto Socioeconómico Local:** La investigación también se fundamenta en la necesidad de abordar los desafíos socioeconómicos locales de Cusco. La región enfrenta problemas relacionados con la gestión de aguas residuales, que afectan la salud pública y la calidad de vida de la población. La implementación de Lean

Construction en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales puede proporcionar soluciones efectivas a estos problemas, mejorando la infraestructura y proporcionando beneficios directos a la comunidad (Arias & Rivera, 2023; Curricula et al., 2020; Lezana 2014; Morales & Risco Cruz, 2022). Además, la metodología Lean fomenta la participación de la comunidad y la creación de empleo local, lo cual es crucial para el desarrollo económico y social de la región (Womack & Jones, 2003).

1.6. Limitaciones de la Investigación

1.6.1. Espacial

La investigación se desarrollará en el contexto específico de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cusco, Perú. Este proyecto servirá como caso de estudio para evaluar la implementación de Lean Construction. La elección de Cusco responde a la necesidad de abordar los desafíos particulares de la región, como las condiciones geográficas y climáticas que afectan los procesos constructivos. Además, se considerarán las particularidades socioeconómicas y culturales del área, que podrían influir en la aceptación y efectividad de las prácticas de Lean Construction.

1.6.2. Temporal

La investigación se llevó a cabo en un período de 12 meses, desde la planificación inicial hasta la finalización del análisis de datos y la redacción del informe final. Este período incluye las etapas de implementación de Lean Construction en el proyecto, recolección de datos en obra, procesamiento y análisis de la información, y la formulación de conclusiones. El marco temporal también considera los posibles retrasos asociados con las fases constructivas del proyecto y los tiempos necesarios para la validación de los instrumentos de recolección de datos. La limitación temporal implica que los resultados reflejarán un snapshot de la efectividad

de Lean Construction dentro del tiempo establecido, lo que puede influir en la generalización de los hallazgos a largo plazo.

1.7. Objetivos de la Investigación

1.7.1. Objetivo General

Evaluar el impacto de la implementación de la metodología Lean Construction en la optimización de costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú.

1.7.2. Objetivos Específicos

- OE-1: Analizar los efectos de Lean Construction en la fase de planificación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- OE-2: Evaluar la influencia de Lean Construction en la eficiencia de la ejecución y gestión de recursos durante la construcción.
- OE-3: Determinar el impacto de Lean Construction en la calidad y sostenibilidad del proyecto.
- OE-4: Identificar los obstáculos para la adopción de Lean Construction y proponer estrategias para superarlos.
- OE-5: Formular recomendaciones para la implementación efectiva de Lean Construction en proyectos de infraestructuras complejas en Perú.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis Principal

- La implementación de la metodología Lean Construction optimiza significativamente los costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad del Cusco, Perú.

1.8.2. Hipótesis Secundarias

- HE-1: La metodología Lean Construction reduce los costos durante la fase de planificación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad del Cusco.
- HE-2: La implementación de Lean Construction mejora la eficiencia en la ejecución y gestión de recursos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco.
- HE-3: La metodología Lean Construction contribuye a mejorar la calidad y sostenibilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco.
- HE-4: Existen obstáculos significativos para la adopción de Lean Construction en proyectos de infraestructuras complejas en Cusco, pero pueden ser superados con estrategias adecuadas.
- HE-5: La implementación de Lean Construction maximiza los beneficios económicos y operativos en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco.

Estas hipótesis están alineadas con las preguntas y objetivos de investigación, asegurando la coherencia y proporción necesarias para guiar el estudio de manera integral.

II. MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación se centra en la implementación de la metodología Lean Construction y su impacto en la optimización de costos en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú. Lean Construction, derivada de los principios de Lean Manufacturing, busca eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia y maximizar el valor en proyectos de construcción. Este enfoque se basa en la planificación colaborativa, la gestión eficiente de recursos y la mejora continua, factores que han demostrado reducir costos y mejorar la calidad de los proyectos (Felipe & Rubio, 2017; Koskela, 1992a). La investigación aborda la teoría detrás de Lean Construction, su evolución y aplicación práctica, así como los beneficios observados en términos de reducción de costos, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental. Además, se exploran conceptos clave como la optimización de costos, eficiencia operativa, calidad del proyecto y sostenibilidad, proporcionando un marco conceptual robusto que guía el análisis y la interpretación de los datos recogidos durante el estudio.

Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control

La filosofía Lean Construction se aplica integralmente en las fases de planificación, programación, ejecución y control de proyectos de construcción, buscando maximizar la eficiencia y reducir desperdicios en cada etapa del proyecto. En la **planificación**, Lean Construction promueve la colaboración entre todas las partes interesadas desde las etapas iniciales del proyecto, facilitando una comprensión compartida de los objetivos y recursos necesarios (Ballard & Howell 2003a, 2003b). Esta colaboración temprana permite identificar y mitigar riesgos, optimizar el uso de materiales y recursos, y establecer un cronograma realista y eficiente.

Durante la **programación**, Lean Construction utiliza herramientas como el Last Planner System (LPS) para asegurar que las tareas se programen de manera realista y se completen a tiempo. El LPS involucra a los equipos en la creación de planes de trabajo detallados y en la identificación de restricciones, lo que mejora la fiabilidad del cronograma y reduce las interrupciones (Ballard & Howell, 2003a; Moscairo Chura & Valdivia Daza, 2019). Este enfoque asegura que todos los recursos estén disponibles cuando se necesiten y que el trabajo fluya sin interrupciones.

En la fase de **ejecución**, Lean Construction se centra en la eliminación de desperdicios y la mejora continua. Técnicas como el Just-In-Time (JIT) y la gestión visual ayudan a mantener el flujo de trabajo y a minimizar el inventario en el sitio de construcción (Sacks et al., 2010). La filosofía Lean también fomenta la participación activa de los trabajadores en la identificación y resolución de problemas, promoviendo un ambiente de mejora continua y adaptabilidad. Finalmente, en el **control** del proyecto, Lean Construction utiliza métricas y retroalimentación constante para evaluar el desempeño y realizar ajustes necesarios. El uso de tableros visuales y reuniones de seguimiento permite monitorear el progreso en tiempo real y responder rápidamente a cualquier desviación del plan (Salem et al., 2006). Este enfoque no solo asegura la calidad y la entrega oportuna del proyecto, sino que también facilita la captura de lecciones aprendidas y la implementación de mejoras en futuros proyectos.

La aplicación integral de Lean Construction en estas fases ha demostrado ser eficaz en la reducción de costos, mejora de la eficiencia y aumento de la calidad en proyectos de construcción en diversos contextos, incluyendo la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco. La investigación y evidencia empírica respaldan la capacidad de Lean Construction para transformar la gestión de proyectos de construcción, proporcionando beneficios tangibles y sostenibles a largo plazo.

Figura 1*Resumen cronológico de Lean Construction (LC) y LPS*

RESUMEN CRONOLÓGICO DE LC Y LPS	
1913	Henri Ford. Cadena de montaje móvil.
Mediados de los 50	Taiichi Ohno tiene operativo el Toyota Production System.
1950 1970	Deming, Juran, Shewhart, Shigeo Shingo, Kaoru Ishikawa, etc. desarrollan sus teorías sobre la Calidad y Mejora Continua que hoy forma parte de LEAN.
Década de los 70	Crisis energética. Toyota destaca por encima de las demás compañías.
Década de los 80	Estudio del MIT que da origen a Lean Production como concepto. John Krafcik acuña Lean Production.
1992	Lauri Koskela fundamenta la teoría de Lean Construction.
1993	Se funda el International Group for Lean Construction IGLC.
1996	Se publica el libro "Lean Thinking" de James Womack y Daniel Jones.
1997	Se funda el Lean Construction Institute (LCI) USA.
2000	Glenn Ballard. Publica su Tesis Doctoral "The Last Planner System of Production Control".
2011	Primer Evento oficial de Lean Construction en España en la Universidad Politécnica de Valencia.
2013	16 Conferencia del European Group for Lean Construction en Valencia.
2014	Inicio de la recuperación en el sector de la construcción de España Se publica en España la Guía "Introducción a Lean Construction".
2015	Conferencia Lean In Public Sector Construction (LIPS) 2015 Barcelona.
2017	Primer Congreso organizado por ITeC enfocado a que empresarios españoles presenten de manera oficial sus casos de éxito en LC y LPS.

Fuente: (Pons & Rubio, 2021)

Lean Construction: Lean Construction es una filosofía de gestión adaptada de Lean Manufacturing, que se enfoca en maximizar el valor para el cliente al minimizar los desperdicios en todas las etapas del proceso de construcción. Se basa en principios como la mejora continua, la optimización de los flujos de trabajo, y la colaboración entre todos los actores involucrados en un proyecto. Lean Construction busca incrementar la eficiencia, reducir costos y tiempos, y mejorar la calidad del producto final, mediante la eliminación de actividades que no añaden valor. **Last Planner System (LPS):** El Last Planner System (LPS)

es una metodología específica de planificación y control de la producción dentro del marco de Lean Construction. Desarrollado para mejorar la fiabilidad de los cronogramas en proyectos de construcción, el LPS se centra en la planificación colaborativa, donde todos los participantes del proyecto asumen un papel activo en la toma de decisiones. El LPS utiliza herramientas como el Plan Maestro, Plan Intermedio y Plan Semanal para asegurar que las tareas sean viables y se ejecuten según lo planificado, reduciendo la variabilidad y aumentando la predictibilidad en la ejecución de proyectos.

2.1. Base teórica

2.1.1. Lean Construction

2.1.1.1. Orígenes y Evolución:

Lean construction es una filosofía de gestión de la producción para proyectos de construcción cuyas raíces se originan en el Sistema de Producción Toyota. El Sistema de Producción Toyota se refiere a un conjunto de principios y prácticas adoptados por Toyota con la filosofía básica de eliminar todo tipo de desperdicios (como sobreproducción, inventario y defectos, etc.) de su sistema de producción de vehículos y, en consecuencia, desarrollar los métodos de producción más eficientes (Ohno, 1982; Womack et al., 2007). El término "Lean" se asoció con esta filosofía de gestión de la producción, ya que enfatizaba "utilizar menos de todo" (Womack et al., 2007), por ejemplo, menos recursos, menor inventario y un costo mínimo (Womack et al., 2007).

Para mejorar la productividad de la industria de la construcción, Lauri Koskela (Koskela, 1992a; Pons & Rubio, 2021), comenzó a explorar la aplicación de la producción ajustada en la construcción, también denominada LC (Koskela, 1992a; Pons & Rubio, 2021). De manera similar a la producción ajustada, la producción ajustada también tiene como objetivo maximizar el valor y minimizar el desperdicio en la construcción (Sacks et al., 2010).

Conceptualiza los proyectos de construcción como un sistema de producción que comprende flujos y transformaciones. Mientras que el aspecto de transformación se centra en convertir un conjunto de recursos de entrada en una forma modificada, el aspecto de flujo se centra en las actividades que transcurren entre las transformaciones, como la inspección, las transferencias y las demoras. Aunque ambos consumen los recursos, las actividades de flujo no son necesarias desde la perspectiva de agregar valor al cliente. De manera similar, algunas partes de las actividades de transformación podrían ser innecesarias si se pueden eliminar utilizando métodos alternativos. Tales actividades innecesarias se denominan actividades que no agregan valor o que son desperdiciadas (Koskela, 1992a; Pons & Rubio, 2021). Para mejorar el desempeño de los proyectos de construcción, el LC pone énfasis en eliminar las actividades de flujo y hacer más eficientes las actividades de transformación. Los principios del LC se basan en las nociones conceptuales de la teoría de producción esbelta en la construcción y definen las bases sobre las que se construyen las herramientas y metodologías del LC (Koskela, 1992a; Pons & Rubio, 2021). El LPS es una metodología LC ampliamente adoptada (Larsson & Ratnayake 2021). Ha demostrado sus beneficios en la mejora del desempeño de los proyectos de construcción en indicadores como tiempo, costo (Formoso & Moura, 2009), y calidad (Koskela, 1992a; Pons & Rubio, 2021).

2.1.1.2. Principios y Fundamentos:

a. Descripción de los Principios Clave de Lean Construction

- **Eliminación de Desperdicios:** La eliminación de desperdicios es un principio central de Lean Construction que se deriva de Lean Manufacturing. En el contexto de la construcción, los desperdicios pueden incluir tiempo, materiales, esfuerzo y recursos humanos. La identificación y eliminación de estos desperdicios buscan optimizar el uso de recursos y maximizar la eficiencia operativa. Koskela (1992)

identifica siete tipos de desperdicios en la construcción: sobreproducción, tiempos de espera, transporte innecesario, exceso de procesamiento, inventario, movimientos innecesarios y defectos. Reducir estos desperdicios mejora la productividad y reduce los costos del proyecto.

- **Mejora Continua (Kaizen):** La mejora continua, conocida como Kaizen en japonés, es otro principio fundamental de Lean Construction. Este enfoque implica la búsqueda constante de mejoras en todos los procesos de construcción, desde la planificación hasta la ejecución y el control. La mejora continua se basa en la participación activa de todos los miembros del equipo, fomentando la identificación y solución de problemas a medida que surgen (Ballard & Howell, 2003a). Esto no solo mejora la calidad y eficiencia del proyecto, sino que también crea una cultura de innovación y adaptabilidad.
- **Planificación Colaborativa:** La planificación colaborativa es un principio que enfatiza la importancia de la cooperación y comunicación entre todas las partes interesadas del proyecto. Esto incluye arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas y clientes. La colaboración temprana y continua asegura que todos los involucrados comprendan los objetivos del proyecto y trabajen juntos para alcanzar estos objetivos de manera eficiente. Herramientas como el Last Planner System (LPS) son utilizadas para facilitar la planificación colaborativa, mejorando la fiabilidad del cronograma y reduciendo los retrasos (Ballard & Howell, 2003a).

b. Aplicación de Estos Principios en el Contexto de la Construcción

- **Eliminación de Desperdicios en la Construcción:** En la práctica, la eliminación de desperdicios en la construcción implica la implementación de técnicas y herramientas específicas para identificar y reducir los desperdicios. Por ejemplo, el uso de Just-In-Time (JIT) para la gestión de inventarios asegura que los materiales

lleguen al sitio de construcción solo cuando son necesarios, reduciendo el exceso de inventario y los costos de almacenamiento (Sacks et al., 2009). Además, la gestión visual mediante tableros Kanban puede ayudar a visualizar el flujo de trabajo y detectar cuellos de botella, permitiendo ajustes rápidos para mantener la eficiencia.

- **Mejora Continua en la Construcción:** La mejora continua en proyectos de construcción se facilita mediante la implementación de ciclos de retroalimentación y revisiones periódicas. Reuniones diarias de pie, conocidas como reuniones stand-up, permiten a los equipos discutir el progreso, identificar problemas y proponer soluciones inmediatas (Ballard & Howell, 2003a). Este enfoque proactivo asegura que los problemas se resuelvan rápidamente y que el aprendizaje continuo se incorpore en los procesos del proyecto. La recopilación y análisis de datos de desempeño también son esenciales para identificar áreas de mejora y medir el impacto de las iniciativas de mejora continua.
- **Planificación Colaborativa en la Construcción:** La planificación colaborativa se implementa mediante el uso de sistemas como el Last Planner System (LPS), que involucra a todos los participantes en la planificación del trabajo a corto plazo. El LPS ayuda a garantizar que las tareas sean planificadas de manera realista y que se identifiquen y eliminen las restricciones antes de que causen retrasos (Khanzode et al., 2006). Esta metodología no solo mejora la coordinación y la comunicación, sino que también aumenta la fiabilidad de los cronogramas, reduciendo la incertidumbre y mejorando la entrega del proyecto (Ayarkwa et al., 2011b; Ballard & Howell, 2003a; Moscairo & Valdivia, s.f.).

2.1.1.3. Beneficios de Lean Construction:

Reducción de Costos

Uno de los beneficios más destacados de Lean Construction es la significativa reducción de costos en proyectos de construcción. Este enfoque sistemático para la gestión y ejecución de proyectos minimiza desperdicios, optimiza el uso de recursos y mejora la productividad. La eliminación de actividades que no añaden valor, como el exceso de procesamiento, el tiempo de espera y el transporte innecesario, resulta en una utilización más eficiente de materiales y mano de obra (Koskela, 1992).

Figura 2.

Lean es una filosofía de producción.



Fuente: (Zigurat 2024)

Además, técnicas como Just-In-Time (JIT) permiten reducir los costos de inventario al asegurar que los materiales lleguen al sitio de construcción solo cuando son necesarios, evitando así el almacenamiento excesivo y los costos asociados (Sacks et al., 2010). Lean

Construction también promueve la identificación y resolución temprana de problemas potenciales a través de la planificación colaborativa y la gestión visual, lo que reduce la probabilidad de errores costosos y retrabajos. La planificación detallada y la programación precisa facilitan la optimización de recursos y la reducción de desperdicios, contribuyendo a una gestión más eficiente de los costos del proyecto (Ballard & Howell, 2003a).

Mejora de la Eficiencia Operativa

La mejora de la eficiencia operativa es otro beneficio crucial de Lean Construction. Este enfoque se centra en crear un flujo continuo de trabajo y eliminar las interrupciones, lo que resulta en una mayor productividad y menor tiempo de ciclo.

Figura 3.

Esquema del DEBE – SE HARÁ – SE PUEDE.



Fuente: (Felipe Pons & Rubio 2017)

La implementación de herramientas como el Last Planner System (LPS) permite una planificación detallada y realista, involucrando a todos los participantes del proyecto en la creación de planes de trabajo y en la identificación de restricciones que puedan afectar el cronograma (Khanzode et al., 2006). Esto no solo mejora la fiabilidad del cronograma, sino que también reduce los tiempos de inactividad y asegura que los recursos estén disponibles cuando se necesiten. Lean Construction fomenta la adopción de prácticas de mejora continua

(Kaizen), donde se promueve la revisión constante de los procesos y la implementación de mejoras incrementales. Las reuniones diarias de pie (stand-up meetings) y el uso de herramientas de gestión visual ayudan a mantener el enfoque en los objetivos del proyecto y permiten una respuesta rápida a cualquier problema que surja, mejorando así la eficiencia operativa en tiempo real (Ballard & Howell, 2003b).

Figura 4.

Lean Construction y Baizen enfoque de gestion.



Fuente: (Pons & Rubio 2021)

Incremento en la Calidad del Proyecto

El incremento en la calidad del proyecto es un beneficio directo de la implementación de Lean Construction. Este enfoque se basa en la premisa de hacer las cosas bien a la primera vez, reduciendo la necesidad de retrabajos y mejorando la satisfacción del cliente. Lean Construction utiliza técnicas como el Poka-Yoke (a prueba de errores) y el control de calidad

en el origen, donde cada fase del proyecto es revisada y asegurada antes de proceder a la siguiente (Salem et al., 2006). Además, la planificación colaborativa asegura que todos los involucrados comprendan claramente los requisitos del proyecto y trabajen juntos para cumplir con estos estándares. La integración de los clientes en el proceso de planificación también ayuda a alinear las expectativas y asegurar que el resultado final cumpla con sus necesidades y estándares de calidad. El uso de técnicas de mejora continua permite identificar y abordar cualquier problema de calidad de manera proactiva, asegurando que el proyecto cumpla con los más altos estándares posibles (Ballard & Howell, 2003b).

Impacto en la Sostenibilidad Ambiental

Lean Construction tiene un impacto positivo significativo en la sostenibilidad ambiental de los proyectos de construcción. Este enfoque promueve la reducción de desperdicios y el uso eficiente de recursos, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental. La implementación de prácticas como el Just-In-Time (JIT) y la gestión visual ayuda a minimizar el exceso de materiales y el desperdicio, reduciendo la huella de carbono del proyecto (Sacks et al., 2010). Lean Construction también fomenta el uso de materiales sostenibles y técnicas de construcción que minimicen el impacto ambiental. La planificación colaborativa y la mejora continua permiten identificar oportunidades para implementar prácticas sostenibles, como el reciclaje de materiales y el uso de fuentes de energía renovable. Además, al optimizar los procesos de construcción y reducir los tiempos de ciclo, Lean Construction disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la maquinaria y el transporte, promoviendo un enfoque más sostenible y responsable en la industria de la construcción (Koskela, 1992a).

Figura 5.

Lean Construction y Baizen enfoque de gestion.



Fuente: (Pons & Rubio, 2021)

2.1.1.4. Implementación de Lean Construction:

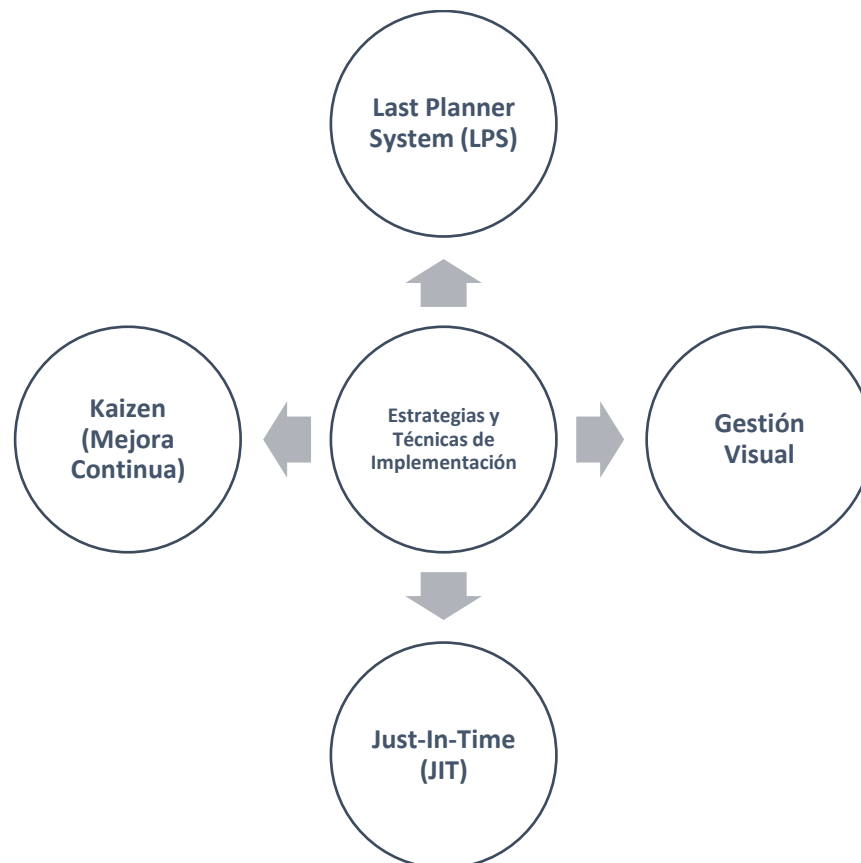
a. Estrategias y Técnicas de Implementación

El Last Planner System (LPS), el Just-In-Time (JIT), la gestión visual y Kaizen (mejora continua) son estrategias clave en la implementación de Lean Construction. El LPS mejora la planificación y la fiabilidad de los cronogramas mediante la colaboración de todos los actores del proyecto, asegurando la programación realista de tareas y la eliminación de restricciones (Felipe & Iván, 2021; Patton, 1999b; Schimanski et al., 2021). El JIT minimiza el exceso de inventario y los costos de almacenamiento al coordinar la entrega oportuna de materiales con los proveedores (Sacks et al., 2010). La gestión visual utiliza herramientas como tableros Kanban y gráficos de progreso para proporcionar claridad y accesibilidad sobre el estado del proyecto, facilitando la identificación y resolución rápida de problemas (Liker, 2004). Finalmente, Kaizen promueve la mejora continua a través de pequeños cambios incrementales

basados en la retroalimentación del equipo, fomentando una cultura de innovación y adaptabilidad (Ballard & Howell, 2003a).

Figura 6.

Estrategias y Técnicas de Implementación Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia.

- **Last Planner System (LPS):** El Last Planner System es una herramienta clave en la implementación de Lean Construction, diseñada para mejorar la planificación y la fiabilidad de los cronogramas. El LPS involucra a todos los actores del proyecto en la planificación a corto plazo, asegurando que las tareas se programen de manera realista y que las restricciones se identifiquen y eliminen antes de que afecten al cronograma (Ballard & Howell, 2003a). Este

enfoque colaborativo no solo mejora la coordinación y la comunicación entre los equipos, sino que también aumenta la probabilidad de cumplir con los plazos establecidos.

- **Just-In-Time (JIT):** El JIT es una técnica de gestión de inventarios que asegura que los materiales se entreguen al sitio de construcción justo cuando son necesarios, minimizando el exceso de inventario y los costos de almacenamiento (Sacks et al., 2010). La implementación de JIT en la construcción requiere una planificación detallada y una coordinación estrecha con los proveedores para asegurar la entrega oportuna de materiales. Esta técnica no solo reduce desperdicios y costos, sino que también mejora la eficiencia del flujo de trabajo en el sitio de construcción.
- **Gestión Visual:** La gestión visual utiliza herramientas como tableros Kanban y gráficos de progreso para proporcionar una visión clara y accesible del estado del proyecto a todos los miembros del equipo (Liker, 2004). Estas herramientas facilitan la identificación rápida de problemas y cuellos de botella, permitiendo ajustes inmediatos y manteniendo el enfoque en los objetivos del proyecto. La transparencia proporcionada por la gestión visual también fomenta una mayor responsabilidad y compromiso entre los trabajadores.
- **Kaizen (Mejora Continua):** Kaizen es una filosofía que promueve la mejora continua a través de pequeños cambios incrementales. En el contexto de la construcción, esto implica la revisión constante de los procesos y la implementación de mejoras basadas en la retroalimentación del equipo (Ballard & Howell, 2003b). La adopción de Kaizen fomenta una cultura de innovación y adaptabilidad, donde los trabajadores son incentivados a identificar y solucionar problemas de manera proactiva.

b. Barreras y Desafíos Comunes

- **Resistencia al Cambio:** Una de las barreras más comunes en la implementación de Lean Construction es la resistencia al cambio por parte de los trabajadores y la administración. Las prácticas tradicionales están profundamente arraigadas en la industria de la construcción, y la adopción de nuevas metodologías puede ser percibida con escepticismo y desconfianza (Akhmatova et al., 2022; Aziz & Hafez, 2013; Creswell & Angeles, 2006). Superar esta resistencia requiere un liderazgo fuerte, capacitación adecuada y la demostración de los beneficios tangibles de Lean Construction.
- **Falta de Capacitación y Conocimiento:** La implementación efectiva de Lean Construction requiere un conocimiento profundo de sus principios y técnicas. La falta de capacitación adecuada puede limitar la capacidad de los equipos para adoptar y aplicar estas prácticas de manera eficaz (Braun & Clarke, 2019; Gomm, 2008; Patton, 1999b). Invertir en programas de capacitación y desarrollo profesional es esencial para asegurar que todos los miembros del equipo comprendan y puedan implementar Lean Construction con éxito.
- **Coordinación y Comunicación:** La coordinación y comunicación efectiva entre todos los actores del proyecto es crucial para el éxito de Lean Construction. La falta de comunicación puede llevar a malentendidos, retrasos y errores (Creswell & Clark, 2017; Denzin & Lincoln, 2011; Field, 2024). Implementar sistemas de comunicación claros y efectivos, junto con reuniones regulares de seguimiento, puede ayudar a mejorar la colaboración y asegurar que todos los involucrados estén alineados con los objetivos del proyecto.
- **Integración de Tecnologías:** La integración de nuevas tecnologías, como el Modelado de Información de Construcción (BIM), puede presentar desafíos

adicionales. La compatibilidad de software, la capacitación en nuevas herramientas y la adaptación de los procesos existentes son barreras comunes que deben abordarse para maximizar los beneficios de Lean Construction (Creswell & Clark, 2017; Denzin & Lincoln, 2011; Field, 2024).

c. Estudios de Caso y Ejemplos Prácticos de Implementación Exitosa

- **Sutter Health's Cathedral Hill Hospital:** Un ejemplo destacado de la implementación exitosa de Lean Construction es el proyecto del Cathedral Hill Hospital de Sutter Health en San Francisco, California. Este proyecto utilizó el Last Planner System (LPS) y otras técnicas Lean para mejorar la coordinación y reducir los desperdicios. Como resultado, el proyecto logró una reducción significativa en los costos y tiempos de construcción, y mejoró la calidad del edificio final (Braun & Clarke, 2006; Type & Gabriel, 2024; Venegas, 2023).
- **Heathrow Terminal 5:** El proyecto de la Terminal 5 del Aeropuerto de Heathrow en Londres es otro ejemplo exitoso. La adopción de Lean Construction permitió una planificación y ejecución eficientes, reduciendo los costos y los tiempos de construcción. La colaboración estrecha entre los contratistas y subcontratistas, facilitada por herramientas Lean, fue clave para el éxito del proyecto (Benavides Lazo et al., 2012; Binzabiah & Wade, 2012; Salem et al., 2006).
- **Hospital Real de Melbourne:** El Hospital Real de Melbourne en Australia implementó Lean Construction para mejorar la eficiencia operativa y la calidad del proyecto. El uso de JIT y gestión visual permitió una mejor coordinación y reducción de desperdicios, resultando en un proyecto entregado a tiempo y dentro del presupuesto. La participación activa de todos los actores del proyecto

en la planificación y ejecución fue fundamental para lograr estos resultados (Benavides Lazo et al., 2012; Binzabiah & Wade, 2012; Salem et al., 2006).

La implementación de Lean Construction implica la adopción de estrategias y técnicas específicas que mejoran la planificación, ejecución y control de los proyectos de construcción. A pesar de las barreras y desafíos comunes, numerosos estudios de caso y ejemplos prácticos demuestran que Lean Construction puede proporcionar beneficios significativos en términos de reducción de costos, mejora de la eficiencia operativa, incremento de la calidad del proyecto y sostenibilidad ambiental. La clave del éxito radica en la capacitación adecuada, la colaboración estrecha y el compromiso con la mejora continua.

2.1.2. Optimización de Costos en la Construcción

2.1.2.1. Concepto de Optimización de Costos

La optimización de costos en la construcción se refiere al proceso de ajustar y controlar los gastos de un proyecto para maximizar el valor y minimizar los recursos desperdiciados sin comprometer la calidad y funcionalidad del producto final. En un entorno competitivo como el de la construcción, la optimización de costos es fundamental para asegurar la viabilidad económica de los proyectos y la sostenibilidad financiera de las empresas constructoras. Esto implica no solo la reducción de costos directos, como materiales y mano de obra, sino también la minimización de costos indirectos y ocultos, tales como retrasos, retrabajos y gastos de mantenimiento (Koskela, 1992a; Liker, 2004; Torres, 2022; Womack & Jones, 2003). La relevancia de la optimización de costos se amplifica por los márgenes de beneficio generalmente bajos en la industria de la construcción. Una gestión eficaz de los costos puede marcar la diferencia entre un proyecto rentable y uno que incurre en pérdidas. Además, la optimización de costos está intrínsecamente relacionada con la competitividad de las empresas

constructoras, ya que aquellas que logran controlar y reducir sus costos de manera efectiva pueden ofrecer mejores precios y ganar más contratos (Julon & Quiroz, 2022; Patiño, 2020).

2.1.2.2. Factores que Influyen en los Costos de Construcción:

Los costos de construcción están influenciados por una amplia gama de factores, que incluyen tanto elementos internos del proyecto como factores externos que pueden ser menos controlables. Entre los factores internos destacan la planificación y programación del proyecto, la gestión de recursos y la eficiencia operativa en la ejecución. Un cronograma mal diseñado o la ineficiente asignación de recursos pueden resultar en sobrecostos significativos debido a la necesidad de aceleración, horas extras o uso innecesario de materiales (Nesterenko et al., 2022).

Externamente, factores como las fluctuaciones en los precios de los materiales, las condiciones económicas globales, las regulaciones locales, y las condiciones meteorológicas también juegan un papel importante en la determinación de los costos. Por ejemplo, un incremento en los precios del acero o del cemento puede aumentar considerablemente los costos de construcción, mientras que cambios en las regulaciones ambientales pueden requerir inversiones adicionales en tecnologías más limpias o en procesos de certificación (Alayo 2023).

2.1.2.3. Técnicas y Metodologías de Optimización

a. Comparación de Diferentes Metodologías (Lean Construction, BIM, etc.):

En la búsqueda de optimización de costos en la construcción, varias metodologías han sido desarrolladas y aplicadas con diferentes grados de éxito. Entre ellas, Lean Construction y Building Information Modeling (BIM) se destacan por su enfoque en la mejora de la eficiencia y la reducción de desperdicios (Schimanski et al., 2021).

- **Lean Construction:** Esta metodología se centra en la eliminación de desperdicios y la maximización del valor para el cliente. Lean Construction promueve la planificación colaborativa, la mejora continua, y la gestión visual para asegurar que todas las

actividades contribuyan al progreso del proyecto sin generar desperdicios. Su aplicación puede llevar a una reducción significativa de costos al minimizar el retrabajo, reducir el inventario y mejorar la eficiencia de los procesos (Pons & Rubio, 2021).

Tabla 1.

Medidas de desempeño global

	Ventajas	Desventajas
Lean Construction	○ Reducción de Desperdicios: Lean Construction se enfoca en eliminar actividades que no añaden valor, reduciendo el desperdicio de tiempo, materiales y esfuerzo (Lezana Pérez, Emilio Achell Pons, 2014). ○ Mejora de la Colaboración: Fomenta la participación activa de todos los actores del proyecto, mejorando la coordinación y comunicación (Felipe Pons & Iván Rubio, 2021). ○ Flexibilidad: Permite adaptarse rápidamente a cambios en el proyecto o en el entorno, lo que es crucial en proyectos de construcción complejos y dinámicos (MANAGEMENT, 2024).	○ Curva de Aprendizaje: Requiere una comprensión profunda y un cambio cultural significativo en la organización, lo cual puede ser difícil de implementar (Akhmatova et al. 2022). ○ Resistencia al Cambio: La adopción de Lean Construction puede encontrar resistencia, especialmente en equipos acostumbrados a métodos tradicionales (Creswell & Clark 2017).
BIM (Building Information Modeling)	○ Visualización y Simulación: Permite visualizar el proyecto en 3D antes de la construcción, lo que ayuda a identificar problemas potenciales y realizar ajustes tempranos (Zigurat, 2024). ○ Mejora de la Coordinación: Facilita la coordinación entre diferentes disciplinas, como arquitectura, ingeniería y construcción, reduciendo la probabilidad de errores y conflictos (Moreno, 2022). ○ Optimización del Ciclo de Vida: BIM no solo optimiza la fase de construcción, sino que también permite gestionar eficazmente el mantenimiento y operación del edificio a lo largo de su ciclo de vida (Liu, 2012).	○ Costos Iniciales Altos: La implementación de BIM requiere una inversión significativa en software, hardware y capacitación (Liu 2012).. ○ Complejidad: La integración de BIM en todas las fases del proyecto puede ser compleja y requiere un alto nivel de competencia técnica (Liu 2012)..

Fuente: Elaboración Propia

- **Building Information Modeling (BIM):** BIM es una metodología que utiliza modelos digitales 3D para facilitar la planificación, diseño, construcción y gestión de edificios e infraestructuras. BIM permite la simulación y análisis detallado de los aspectos físicos y funcionales de un proyecto antes de la construcción, lo que ayuda a identificar posibles conflictos y optimizar el diseño y la programación. La implementación de BIM puede reducir costos al disminuir las incertidumbres, mejorar la coordinación entre las partes involucradas y reducir los cambios durante la construcción (Oskouie et al., 2012; Pérez et al., 2019; Zhang & El-Gohary, 2017).

b. Aplicación Práctica en Proyectos de Infraestructura:

En la práctica, la combinación de Lean Construction y BIM puede ofrecer un enfoque integral para la optimización de costos en proyectos de infraestructura. Mientras Lean Construction asegura la eficiencia en la ejecución diaria mediante la reducción de desperdicios y la mejora continua, BIM facilita una planificación y diseño más precisos, reduciendo la probabilidad de errores costosos (Rokooei, 2015). Por ejemplo, en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, BIM puede utilizarse para modelar la infraestructura y planificar la secuencia de construcción, mientras que Lean Construction puede aplicarse para gestionar la ejecución diaria de las tareas, asegurando que se sigan los planes sin desperdicios ni retrasos.

2.1.2.4. Impacto de Lean Construction en la Optimización de Costos

a. Evidencia Empírica y Estudios de Caso:

Numerosos estudios de caso y evidencias empíricas han demostrado que la implementación de Lean Construction puede tener un impacto significativo en la optimización de costos en proyectos de construcción. Un estudio realizado en un proyecto de construcción

de un hospital en California mostró que la aplicación del Last Planner System, una herramienta clave de Lean Construction, permitió reducir el tiempo de ciclo del proyecto en un 30% y los costos en un 15% en comparación con proyectos similares que no utilizaron Lean (Ballard & Howell, 2003a).

Otro estudio realizado en la construcción de una línea de metro en Londres evidenció que Lean Construction, combinado con BIM, resultó en una reducción del 20% en los costos de construcción, debido a la mejora en la coordinación y la reducción de conflictos entre diferentes disciplinas del proyecto (Sacks et al., 2010).

b. Análisis Comparativo de Costos Antes y Después de la Implementación de Lean Construction:

Para evaluar el impacto de Lean Construction en la optimización de costos, es crucial realizar un análisis comparativo de los costos incurridos antes y después de su implementación. Este análisis debe considerar no solo los costos directos de materiales y mano de obra, sino también los costos asociados con el tiempo de construcción, la eficiencia operativa y la calidad del proyecto final. Los resultados de estudios de caso sugieren que la implementación de Lean Construction puede llevar a reducciones significativas en los costos totales del proyecto, principalmente debido a la reducción de desperdicios, la mejora en la eficiencia operativa y la minimización de retrabajos. Sin embargo, la magnitud de estas reducciones puede variar según el contexto específico del proyecto, la experiencia del equipo y el grado de adopción de los principios Lean. La optimización de costos en la construcción es un proceso complejo que requiere una comprensión profunda de los factores que influyen en los costos y la aplicación de metodologías eficaces como Lean Construction y BIM. La evidencia empírica respalda que Lean Construction puede ser una herramienta poderosa para reducir costos y mejorar la eficiencia en proyectos de construcción, especialmente cuando se integra con otras

metodologías avanzadas como BIM (Arias & Rivera, 2023; Felipe & Iván, 2021; Pons & Rubio, 2021).

2.1.3. Last Planner System en la construcción

Los problemas crónicos que han afectado al sector de la construcción durante mucho tiempo son bien conocidos, pero la industria suele resistirse a adoptar el sistema Lean y otras formas de gestión innovadoras provenientes de sectores como el automotriz.

Figura 7.

Problemas crónicos de la construcción

PROBLEMAS CRÓNICOS DE LA CONSTRUCCIÓN	
1	Uso de métodos obsoletos para la Planificación, Control y Gestión de la Producción.
2	Escaso rigor en el cumplimiento de la Seguridad.
3	Proyectos incompletos, poco detallados y escasamente analizados.
4	Controles de calidad ineficaces que no garantizan la entrega de calidad a la primera.
5	Incumplimiento sistemático de los plazos de entrega.
6	Mano de obra poco cualificada, comparada con la industria manufacturera.
7	Falta de coordinación y transparencia entre las partes interesadas.
8	Escasos o nulos controles de la productividad.
9	Sobrecostos. Sistema de licitación basado en: (1) diseño, (2) licitación, (3) construcción.
10	Gran cantidad de retrabajos.

Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

La vasta experiencia de los autores, acumulada durante los últimos 20 años en este sector, les ha permitido identificar una serie de razones que hacen imperativo un cambio de paradigma en la construcción (Koskenvesa & Koskela, 2005; Lezana, 2014; Moscairo & Valdivia, 2019). Aunque este cambio ya ha comenzado, aún no se ha implementado de manera global ni ha sido adoptado por todas las empresas y países. Basándose en sus experiencias e investigaciones, los autores han elaborado una lista con los 10 problemas más recurrentes en

la construcción. Además, en cursos y asesorías, ha habido un consenso general en que la mayoría de las personas han enfrentado estos problemas en carne propia (Koskenvesa & Koskela, 2005; Lezana, 2014; Moscairo & Valdivia, 2019).

2.1.3.1.Introducción

Contextualización del Last Planner System (LPS): El Last Planner System (LPS) es una metodología de planificación y control de producción desarrollada específicamente para la industria de la construcción, con el objetivo de mejorar la fiabilidad y eficiencia de los proyectos. Su origen se remonta a principios de la década de 1990, cuando fue conceptualizado por Glenn Ballard y Greg Howell en respuesta a las limitaciones observadas en los métodos tradicionales de gestión de proyectos.

Figura 8.

Relación entre el DEBE – SE HARA – SE PUEDE y las fases de la planificación

RELACIÓN ENTRE EL DEBE-SE HARÁ-SE PUEDE Y LAS FASES DE PLANIFICACIÓN DEL LPS		
Debería	PROGRAMA MAESTRO	Establecer hitos y primeros acuerdos.
	PLANIFICACIÓN POR FASES	Especificar entregables y fechas de cada equipo/sector.
Se puede	PLANIFICACIÓN INTERMEDIA	Preparar trabajo, identificando restricciones y gestionando su liberación.
Se hará	PLANIFICACIÓN SEMANAL	Establecer compromisos de avance para el período.
Se hizo	APRENDIZAJE	Medir porcentaje de cumplimiento de compromisos del período (avance y gestión). Actuar sobre causas de no cumplimiento.

Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

El LPS se distingue por su enfoque en la planificación colaborativa y su capacidad para integrar a todos los participantes del proyecto en el proceso de toma de decisiones. Esto no solo mejora la coordinación, sino que también reduce la incertidumbre y el desperdicio, elementos críticos en la gestión de la construcción (Felipe & Iván, 2021; Formoso & Moura, 2009; Koskela, 1992b; Larsson & Ratnayake, 2021; Pons & Rubio, 2021).

relación entre el DEBE-SE HARÁ-SE PUEDE y las diferentes fases de planificación de la metodología del Last Planner® System

El desarrollo del LPS se basó en principios de Lean Construction, que a su vez derivan de la filosofía Lean Manufacturing implementada en la industria automotriz, particularmente en Toyota. El LPS se ha adaptado a las necesidades específicas de la construcción, donde la variabilidad y la complejidad son desafíos constantes. Su estructura incluye la planificación a largo, mediano y corto plazo, con un fuerte énfasis en la responsabilidad de los equipos de trabajo para cumplir con los compromisos adquiridos. Esta responsabilidad compartida y el enfoque en la mejora continua son fundamentales para el éxito del LPS en la reducción de retrasos y sobrecostos en los proyectos (Koskenvesa & Koskela, 2005; Lezana, 2014; Moscairo & Valdivia, 2019).

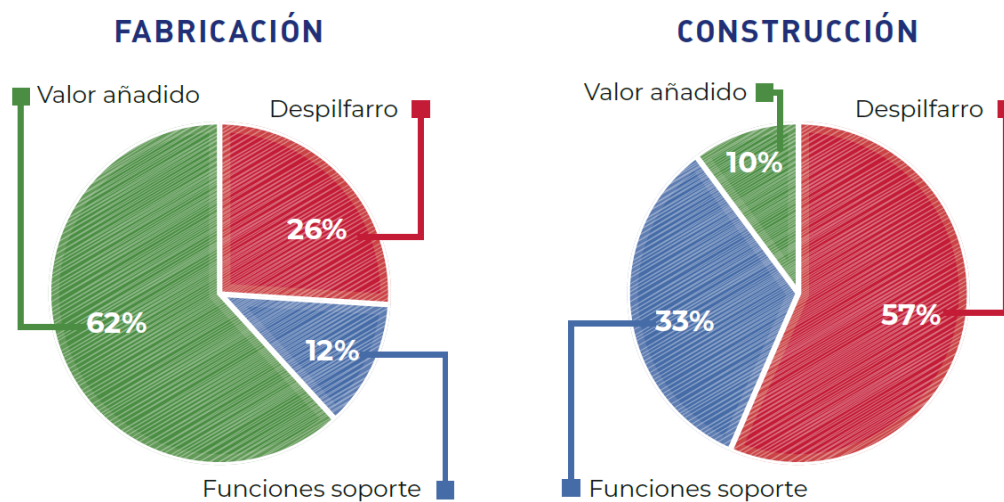
Importancia del LPS en la industria de la construcción: El Last Planner System ha ganado una importancia significativa en la industria de la construcción debido a su capacidad para enfrentar los desafíos tradicionales del sector, como la falta de coordinación entre los equipos, la baja predictibilidad en los cronogramas y el alto nivel de desperdicio de recursos. La implementación del LPS permite una planificación más precisa y realista, lo que se traduce en una ejecución más eficiente y en la entrega de proyectos dentro de los plazos y presupuestos establecidos. Esto es especialmente relevante en un sector donde los márgenes de beneficio son estrechos y la competencia es alta (Koskenvesa & Koskela, 2005; Lezana, 2014; Moscairo & Valdivia, 2019).

Además, el LPS promueve la colaboración y el compromiso de todos los involucrados en el proyecto, desde los gerentes hasta los operarios en obra. Al hacerlo, se mejora la comunicación y se reduce la posibilidad de errores y malentendidos que puedan llevar a costosos retrabajos. La metodología también facilita la identificación temprana de problemas potenciales, lo que permite tomar medidas correctivas antes de que afecten significativamente

el progreso del proyecto. En resumen, el LPS no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la calidad del producto final y a la satisfacción del cliente.

Figura 9.

Valor añadido y Despilfarro en la Construcción en comparación con la Fabricación, en Estados Unidos.



Fuente: (Ayarkwa et al. 2011a; Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

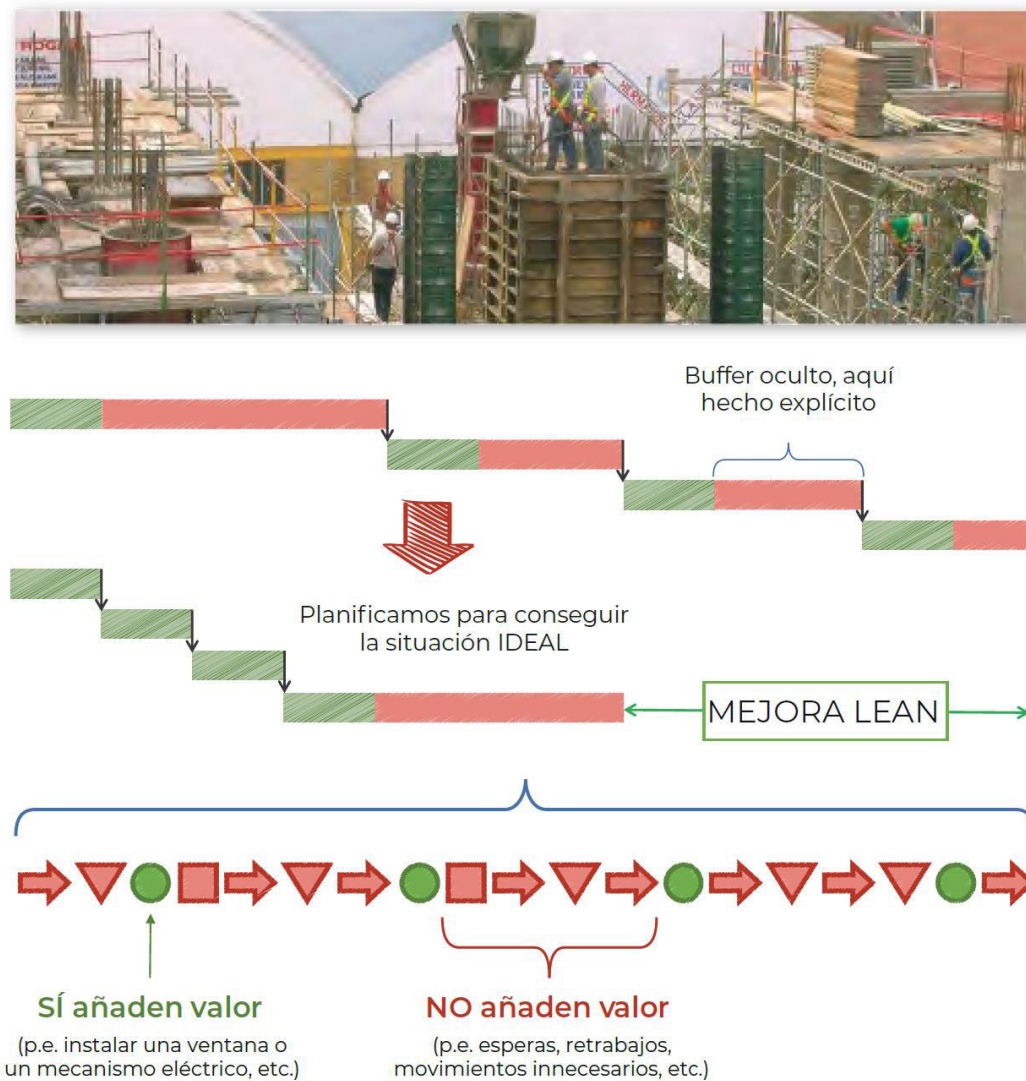
Objetivos del Marco Teórico: El marco teórico propuesto tiene como objetivo proporcionar una base sólida para la comprensión y análisis del Last Planner System en el contexto de la industria de la construcción. A través de este marco, se explorarán los fundamentos teóricos del LPS, su evolución, y su aplicación práctica en proyectos de construcción. Se analizarán los principios y beneficios del sistema, así como los desafíos asociados a su implementación.

Este marco teórico apoyará la investigación al ofrecer una guía estructurada para el análisis del impacto del LPS en la optimización de costos y la mejora de la eficiencia en los proyectos. Permitirá también identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas de estudios de caso y proyectos donde el LPS ha sido implementado con éxito. En última instancia, el marco teórico

proporcionará las bases necesarias para desarrollar estrategias efectivas de implementación que maximicen los beneficios del LPS en la construcción moderna (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 10.

Flujo de valor en construcción, actividades añaden valor y otras no



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Figura 11.

Los 5 elementos de last palnner system



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

2.1.3.2. Componentes del Last Planner System (LPS)

Componentes del Last Planner System: El Last Planner System (LPS) es una metodología integral que se basa en varios componentes interrelacionados para garantizar la planificación, ejecución y seguimiento efectivos de los proyectos de construcción. Estos componentes incluyen el Plan Maestro, el Plan Intermedio, el Plan Semanal y las reuniones de coordinación y seguimiento. Cada uno desempeña un papel crucial en la estructura del LPS, permitiendo una gestión eficiente y colaborativa que optimiza el uso de recursos y asegura la entrega exitosa de proyectos (Lezana, 2014; Torres, 2022).

1) Plan Maestro (Master Plan)

Definición y función del Plan Maestro dentro del LPS: El Plan Maestro es el componente estratégico del Last Planner System que define la visión a largo plazo del proyecto. Establece los objetivos generales, los hitos clave y las fases principales del proyecto, sirviendo como una hoja de ruta para toda la planificación subsiguiente. El Plan Maestro no solo proporciona una estructura inicial sobre la cual se construirá todo el proyecto, sino que también alinea a todos los stakeholders con los objetivos estratégicos, asegurando que las decisiones diarias contribuyan al logro de estos objetivos (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 12.

Sesión de planificación a largo plazo



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Los componentes a considerar algún programa maestro son los siguientes:

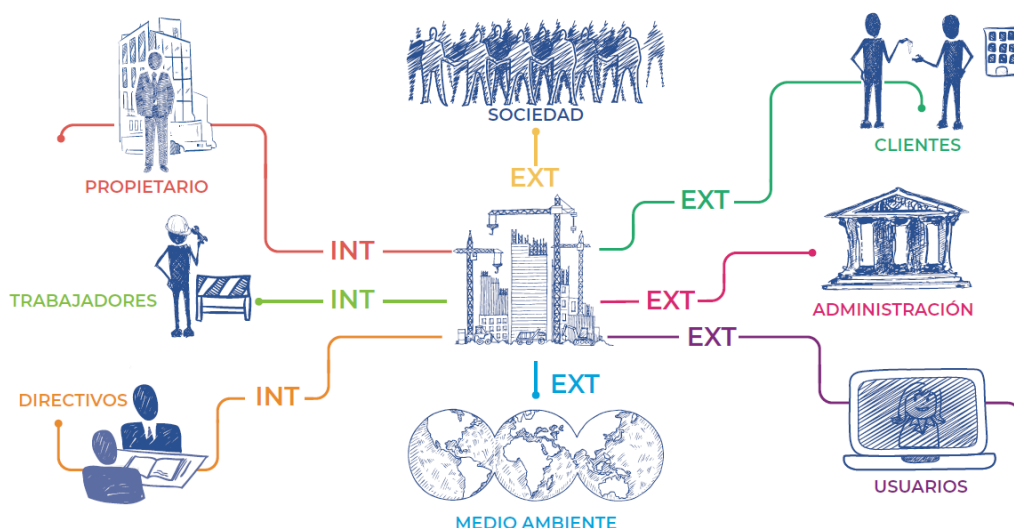
- ✓ Definición del alcance
- ✓ Análisis del stakeholders o partes interesadas: cliente, proveedores, subcontratistas, proyectistas, comunidad de usuarios, etc
- ✓ Definición de la estructura de desglose de trabajo (wbs)
- ✓ Definición de la estructura de organización del proyecto (obs)
- ✓ Análisis de riesgo del proyecto
- ✓ Definición de la estrategia de trabajo a seguir
- ✓ Identificación de recursos críticos (equipo, material, mano de obra)
- ✓ Identificación de hitos
- ✓ Costo de las actividades etc

Cómo el Plan Maestro establece la base para la planificación detallada: El Plan Maestro es fundamental porque desglosa el proyecto en fases manejables, estableciendo la

secuencia lógica de actividades que debe seguirse para cumplir con los plazos. Sirve como un marco de referencia que guía la planificación intermedia y semanal, garantizando que las tareas a corto plazo estén alineadas con los objetivos a largo plazo. Además, el Plan Maestro facilita la identificación temprana de posibles conflictos o cuellos de botella, permitiendo que se tomen decisiones informadas y proactivas antes de que los problemas afecten el progreso del proyecto (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 13.

Mapa genérico de Stakeholders



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

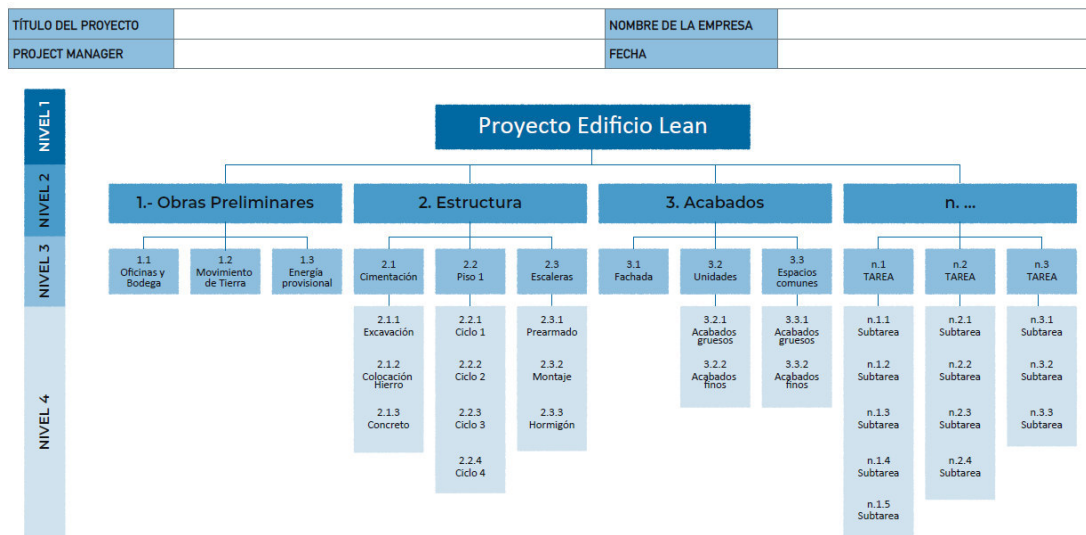
2) Plan Intermedio (Phase Planning)

Descripción del Plan Intermedio y su papel en la descomposición de tareas: El Plan Intermedio, también conocido como Phase Planning, es la etapa en la que se detallan las fases principales del proyecto establecidas en el Plan Maestro. Aquí, las actividades se descomponen en tareas más específicas que se pueden gestionar con mayor precisión. El objetivo del Plan Intermedio es crear una conexión fluida entre la visión estratégica del Plan Maestro y la ejecución detallada de las tareas en el sitio. Este plan asegura que cada fase del proyecto esté

claramente definida, con una secuencia lógica de actividades que facilite la coordinación entre los equipos (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 14.

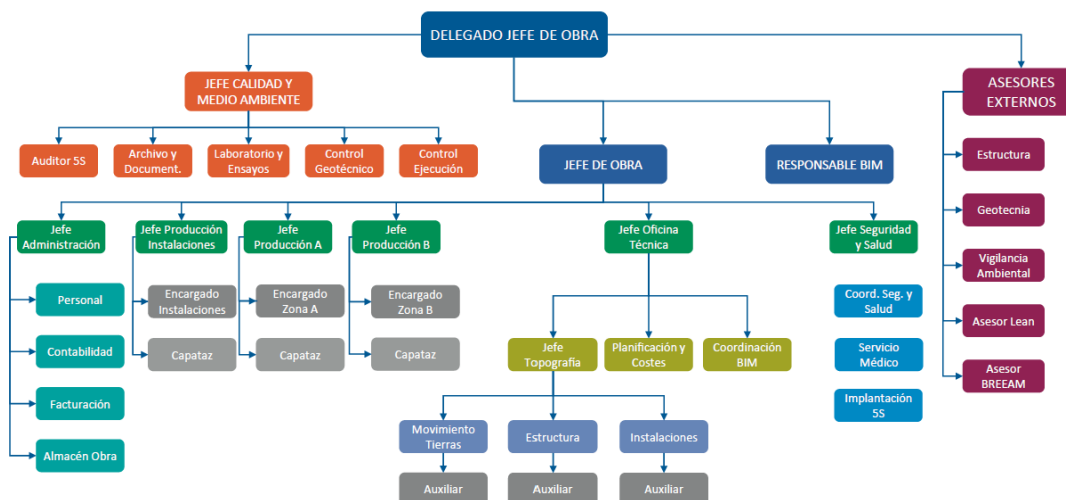
Ejemplo estructura de desglose de trabajo (wbs)



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Figura 15.

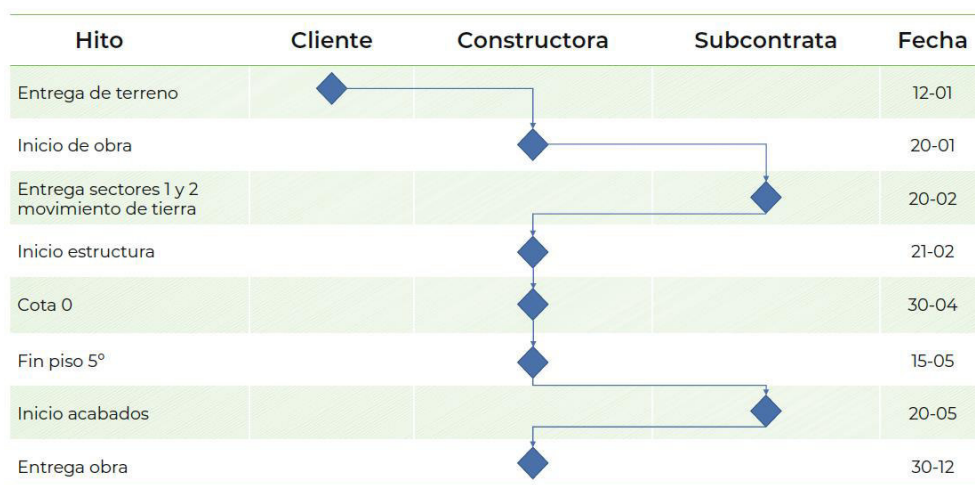
Estructura de organización del proyecto (obs)



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

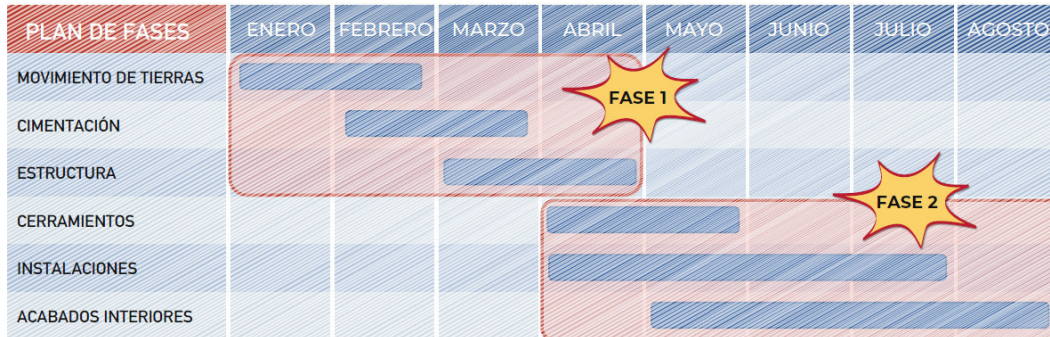
Figura 16.

Ejemplo de plan de hitos principales a partir de la cual se hará el plan de fases



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Herramientas y técnicas para la elaboración del Plan Intermedio: El Plan Intermedio se elabora utilizando técnicas como el "Pull Planning", que involucra a todos los equipos en la determinación de la secuencia de actividades necesarias para alcanzar un hito específico. Esta técnica se basa en el principio de trabajar hacia atrás desde el objetivo final (pull) para asegurar que todas las tareas previas sean necesarias y optimizadas. Otras herramientas utilizadas incluyen diagramas de flujo de trabajo y análisis de restricciones, que permiten identificar y eliminar obstáculos antes de que afecten la producción. El Phase Planning es un proceso colaborativo que mejora la comprensión mutua y el compromiso de los equipos con el cronograma del proyecto (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 17.*Ejemplo de plan de fases*

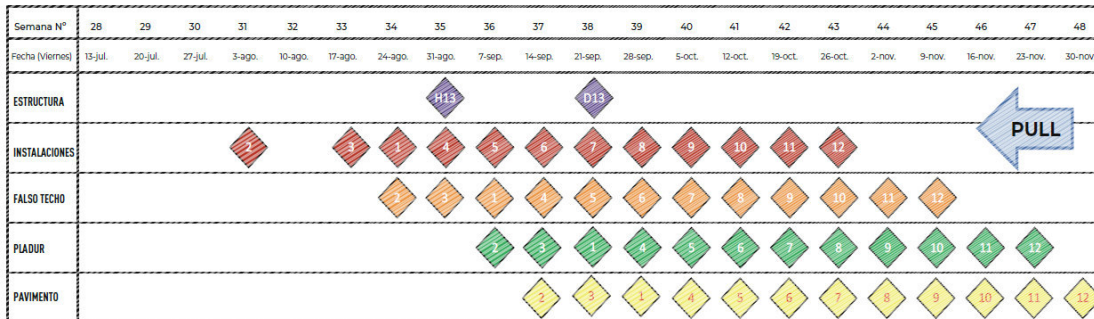
Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

3) Plan Semanal (Lookahead Planning)

Importancia del Plan Semanal para la gestión a corto plazo: El Plan Semanal, o Lookahead Planning, es crucial para la gestión a corto plazo dentro del Last Planner System. Este componente traduce las tareas identificadas en el Plan Intermedio en acciones concretas que deben realizarse en una semana específica. La principal función del Plan Semanal es asegurar que las tareas planificadas sean viables y estén libres de restricciones, lo que minimiza las interrupciones y asegura un flujo de trabajo continuo en el sitio de construcción. A través del Lookahead Planning, se verifican los recursos disponibles, se resuelven conflictos y se ajustan las tareas para mantener el ritmo del proyecto (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 18.

Ejemplo de planificación de Pull de una fase



Fuente: (Lezana, Emilio, 2014; Torres 2022).

Figura 19.

Ejemplo de sesión de planificación Pull de una fase



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Es crucial que la información del proyecto se envíe previamente a la sesión de Planificación Pull, de modo que los participantes puedan llegar preparados y cumplir con los objetivos establecidos. Al menos, se debe incluir la siguiente información en el envío previo (Lezana, 2014; Torres, 2022).

- Descripción del trabajo/hito o entregable del que se va a “tirar” (hacer Pull).
- Información del programa de trabajo.
- Estrategia de trabajo que se tiene considerada.
- Actividades principales consideradas.
- Cantidades de obra y rendimientos considerados.
- Planos de la obra.
- Especificaciones técnicas
- Recursos críticos identificados
- Riesgos identificados
- Cualquier otra información que se considere relevante.

Técnicas para asegurar la viabilidad de las tareas planificadas: Para garantizar que las tareas del Plan Semanal sean viables, se utilizan técnicas como la "verificación de restricciones" (constraints analysis), donde se revisa si existen barreras que puedan impedir la ejecución de una tarea, y se eliminan antes de que comience el trabajo. Además, el uso de "tableros de control visual" permite que todos los miembros del equipo vean el estado actual de las tareas, facilitando la identificación de problemas y la toma de decisiones rápidas. Otra técnica clave es la "programación por compromiso", donde los responsables de las tareas se comprometen a cumplir con las actividades planificadas, reforzando la responsabilidad y el cumplimiento (Lezana, 2014; Torres, 2022).

4) Reuniones de Coordinación y Seguimiento

Descripción de las reuniones diarias y semanales: Las reuniones de coordinación y seguimiento son elementos esenciales del LPS, diseñadas para mantener la alineación y el flujo de comunicación entre todos los participantes del proyecto. Las reuniones diarias, a menudo llamadas "reuniones stand-up", son breves y se centran en revisar el progreso de las tareas

planificadas para ese día, identificar y resolver problemas inmediatos y ajustar el trabajo según sea necesario. Las reuniones semanales, por otro lado, se utilizan para revisar el Plan Semanal, discutir el cumplimiento de los compromisos y planificar las tareas para la semana siguiente (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Cómo estas reuniones fomentan la colaboración y la resolución de problemas en tiempo real: Estas reuniones fomentan un entorno de trabajo colaborativo, donde la transparencia es clave. Al involucrar a todos los equipos en la discusión diaria del progreso y los problemas, se asegura que las decisiones se tomen de manera colectiva y basada en datos reales, lo que minimiza los malentendidos y los retrasos. La naturaleza interactiva de estas reuniones permite una resolución de problemas en tiempo real, ya que cualquier obstáculo que surja puede ser abordado inmediatamente, lo que reduce el tiempo de inactividad y mantiene el proyecto en marcha. Además, estas reuniones refuerzan la responsabilidad de los equipos al revisar públicamente el cumplimiento de los compromisos asumidos (Lezana, 2014; Torres, 2022).

Figura 20.

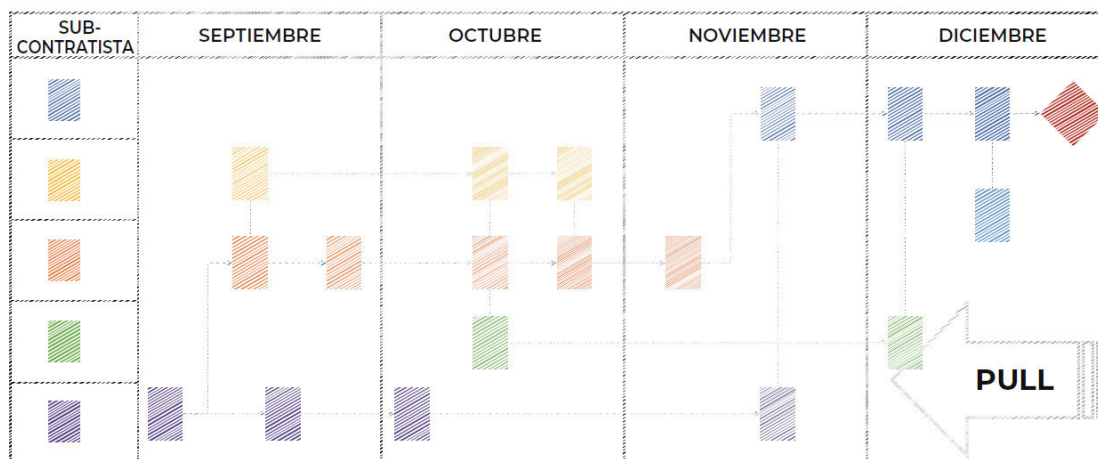
Panel de planificación de fases en el que hemos dividido el proyecto



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

Figura 21.

Panel de planificación de fases en el que las filas corresponden a sub partidas



Fuente: (Calderon 2020; Felipe & Rubio 2017)

2.1.3.3. Implementación del Last Planner System

El Last Planner System (LPS) es una metodología que ha demostrado ser altamente efectiva en la gestión de proyectos de construcción. Sin embargo, su éxito depende en gran medida de una implementación cuidadosa y bien planificada. Esta sección explora las estrategias, herramientas y técnicas necesarias para una implementación exitosa, así como la importancia de la capacitación y formación continua del equipo (Torres, 2022).

a) Estrategias de Implementación

⇒ **Pasos para implementar el LPS en proyectos de construcción:** La implementación del LPS en proyectos de construcción requiere un enfoque sistemático que garantice la adopción efectiva de sus principios. El proceso comienza con la **planificación del proyecto**, donde se definen claramente los objetivos y se identifican las fases clave. A continuación, se lleva a cabo una **evaluación inicial de la capacidad del equipo** y de las herramientas disponibles para implementar el LPS, asegurando que se cuenta con los recursos necesarios para su adopción. El siguiente paso es **introducir el Last**

Planner System de manera gradual, comenzando con sesiones de formación y talleres de sensibilización que permitan a todos los participantes comprender los fundamentos del sistema. Es crucial establecer un **equipo de líderes de LPS** que impulse la implementación y actúe como enlace entre la alta dirección y los equipos operativos. Estos líderes deben facilitar la transición hacia prácticas Lean y supervisar la **implementación piloto** en una sección del proyecto, donde se puedan realizar ajustes antes de una implementación a gran escala (Torres, 2022).

⇒ **Requerimientos previos para una implementación exitosa:** Para que la implementación del LPS sea exitosa, es necesario cumplir con ciertos requisitos previos. En primer lugar, debe existir un compromiso firme de la alta dirección para adoptar el LPS, ya que el éxito depende de un liderazgo que promueva y apoye la transformación cultural hacia prácticas Lean. También es crucial que el equipo de proyecto esté bien estructurado y que exista una cultura organizacional abierta al cambio y a la colaboración. Además, es fundamental que se disponga de herramientas tecnológicas adecuadas, como software de gestión de proyectos que facilite la visualización y el seguimiento de las tareas. La comunicación fluida entre todos los niveles de la organización es otro requisito clave, ya que el LPS se basa en la colaboración y la transparencia. Por último, la formación continua y el seguimiento constante de los avances son esenciales para mantener la eficacia del sistema y adaptarlo a las necesidades del proyecto (Torres, 2022).

b) Herramientas y Técnicas Asociadas al LPS

⇒ **Herramientas de gestión visual como tableros Kanban:** Una de las herramientas más importantes en la implementación del LPS es el **Kanban**, un sistema de gestión visual que permite a los equipos ver el flujo de trabajo en tiempo real. Los tableros Kanban son utilizados para **visualizar las tareas**, identificando claramente las que están en

progreso, las que están pendientes y las que ya han sido completadas. Esta herramienta facilita la detección temprana de cuellos de botella y problemas, permitiendo una **respuesta rápida y eficaz** (Torres, 2022).

- ⇒ Los tableros Kanban también promueven la transparencia y el compromiso del equipo, ya que todos los miembros pueden ver el estado actual del proyecto y entender cómo sus tareas individuales contribuyen al objetivo general. Además, al proporcionar una vista clara del flujo de trabajo, los tableros Kanban ayudan a priorizar tareas y optimizar recursos, lo que es esencial para mantener el proyecto dentro del plazo y presupuesto estipulados (Ballard & Howell, 2003a; Falcón Guerra, 2022; Liker, 2004).
- ⇒ Métodos de seguimiento y control de las actividades: El éxito del LPS depende en gran medida del seguimiento y control continuo de las actividades. Esto se logra a través de reuniones regulares, como las reuniones diarias de stand-up y las reuniones semanales de planificación, donde se revisa el progreso de las tareas y se toman decisiones para resolver cualquier problema que haya surgido. El uso de indicadores clave de rendimiento (KPIs) es esencial para medir el avance y evaluar si el proyecto está en camino de cumplir con los objetivos establecidos. Otra técnica importante es el análisis de restricciones (constraints analysis), que se utiliza para identificar y eliminar obstáculos antes de que afecten el flujo de trabajo. Esto garantiza que las tareas planificadas sean viables y que no existan impedimentos que puedan causar retrasos. Además, el uso de software de gestión de proyectos facilita la recopilación y el análisis de datos en tiempo real, proporcionando a los gerentes la información necesaria para tomar decisiones informadas y ajustar el curso del proyecto según sea necesario (Torres, 2022).

c) Capacitación y Formación

- ⇒ **Importancia de la capacitación del equipo en LPS:** La **capacitación del equipo** es un pilar fundamental en la implementación del Last Planner System. Dado que el LPS implica un cambio significativo en la forma de planificar y ejecutar proyectos, es crucial que todos los miembros del equipo comprendan los principios y prácticas de este sistema. La falta de formación adecuada puede resultar en una implementación superficial, donde los beneficios del LPS no se aprovechan plenamente. La capacitación debe enfocarse no solo en las herramientas y técnicas del LPS, sino también en **cambiar la mentalidad** de los trabajadores hacia una cultura de mejora continua y colaboración. Es vital que los equipos entiendan la importancia de la **planificación colaborativa**, la **responsabilidad compartida** y la **transparencia en la comunicación**. Solo con un equipo bien capacitado se puede garantizar que el LPS se implemente de manera efectiva y sostenible.
- ⇒ **Estrategias para formar a los participantes en los principios y prácticas del LPS:** Existen varias estrategias para formar a los participantes en los principios y prácticas del LPS. Una de las más efectivas es la **capacitación basada en proyectos reales**, donde los equipos aprenden a aplicar los conceptos del LPS en el contexto de sus propios proyectos. Esto no solo facilita la comprensión de los principios teóricos, sino que también permite a los equipos ver los beneficios inmediatos de la implementación. Otra estrategia es la **realización de talleres interactivos y simulaciones**, donde los participantes pueden practicar la planificación y resolución de problemas en un entorno controlado. Además, es recomendable establecer un **programa de mentores**, donde empleados con experiencia en LPS guíen a los nuevos en la aplicación práctica de los principios. Finalmente, el uso de **recursos multimedia**, como videos explicativos y plataformas de aprendizaje en línea, puede complementar la formación y proporcionar

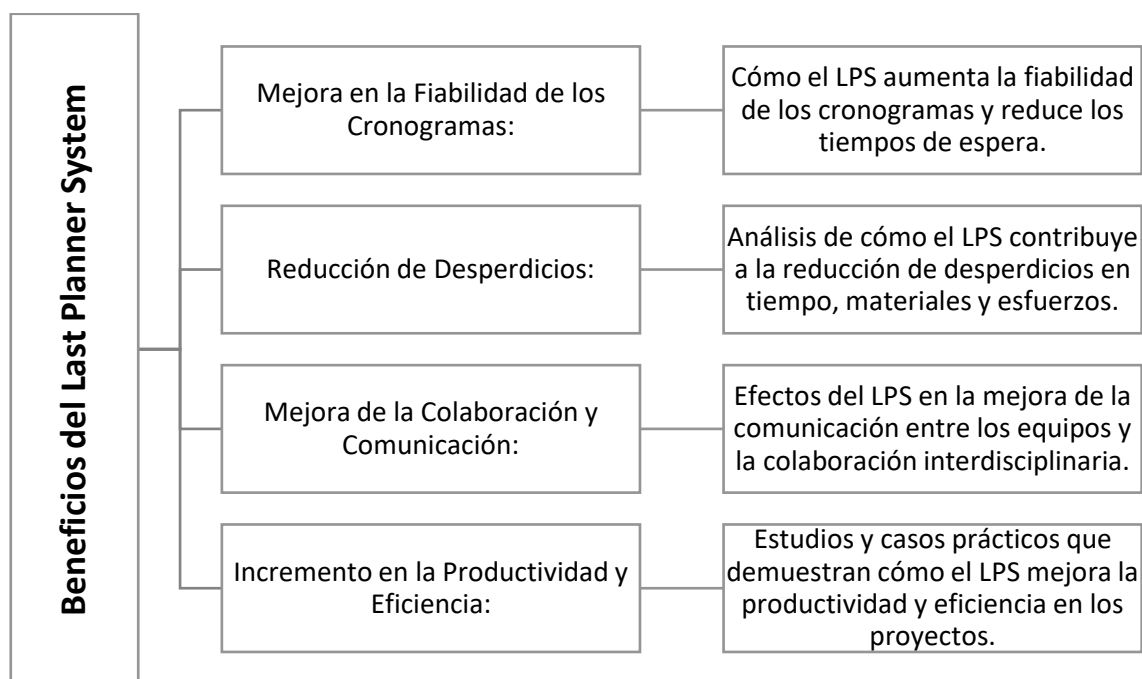
acceso continuo a información y soporte (Ballard & Howell, 2003a; Falcón Guerra, 2022; Liker, 2004).

2.1.3.4.5. Beneficios del Last Planner System

El Last Planner System (LPS) es una metodología de gestión que ha demostrado ser altamente efectiva en la optimización de proyectos de construcción, proporcionando una serie de beneficios clave que mejoran significativamente la eficiencia y la productividad en la industria. A continuación, se detallan los principales beneficios que aporta el LPS, desde la mejora de la fiabilidad de los cronogramas hasta la reducción de desperdicios y el fomento de la colaboración (Ballard & Howell, 2003a; Falcón Guerra, 2022; Liker, 2004).

Figura 22.

Beneficios de last planner system



Fuente: Elaboración propia

A. Mejora en la Fiabilidad de los Cronogramas

Cómo el LPS aumenta la fiabilidad de los cronogramas y reduce los tiempos de

espera: El LPS mejora la fiabilidad de los cronogramas al promover un enfoque de planificación colaborativa y continua. A diferencia de los métodos tradicionales, que suelen ser rígidos y propensos a sufrir desviaciones, el LPS utiliza herramientas como el **Lookahead Planning** para revisar y ajustar las actividades de manera constante, asegurando que cada tarea esté lista para ser ejecutada antes de su inicio programado. Esto minimiza los tiempos de espera y reduce las interrupciones, lo que se traduce en cronogramas más precisos y confiables. Además, el LPS fomenta la responsabilidad de los equipos mediante el concepto de "planificación por compromiso", donde los participantes asumen un papel activo en la programación y se comprometen a cumplir con los plazos establecidos. Esto no solo aumenta la predictibilidad del proyecto, sino que también crea un entorno de trabajo en el que los retrasos se abordan de manera proactiva, reduciendo así los riesgos de incumplimiento del cronograma (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

B. Reducción de Desperdicios

Análisis de cómo el LPS contribuye a la reducción de desperdicios en tiempo, materiales

y esfuerzos: Uno de los principios fundamentales del LPS, derivado de la filosofía Lean Construction, es la **eliminación de desperdicios** en todas sus formas. El LPS logra esto mediante la mejora de la **planificación y ejecución de tareas**, asegurando que solo se realicen actividades que agreguen valor al proyecto. Al involucrar a todos los participantes en la planificación, el LPS permite identificar y eliminar actividades innecesarias que podrían resultar en desperdicios de tiempo, materiales y esfuerzo. El uso de herramientas como el **Pull Planning** y el análisis de restricciones permite que las tareas se organicen de manera que los recursos estén disponibles cuando y donde se necesiten, minimizando el almacenamiento innecesario de materiales y evitando la sobreproducción. Esto no solo reduce los costos

asociados con los desperdicios, sino que también mejora la eficiencia general del proyecto al garantizar que todos los recursos se utilicen de manera óptima.

C. Mejora de la Colaboración y Comunicación

Efectos del LPS en la mejora de la comunicación entre los equipos y la colaboración interdisciplinaria: El Last Planner System se distingue por su capacidad para mejorar la comunicación y colaboración entre todos los miembros del proyecto, desde los gerentes de proyecto hasta los operarios en obra. Al establecer un marco de planificación colaborativa, el LPS facilita un flujo de información transparente y continuo entre los diferentes equipos, lo que es crucial para la coordinación efectiva en proyectos complejos (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Las **reuniones diarias y semanales**, componentes esenciales del LPS, proporcionan un espacio para que los equipos compartan actualizaciones, discutan problemas y tomen decisiones en conjunto. Esta colaboración interdisciplinaria asegura que todos los participantes estén alineados con los objetivos del proyecto y que las soluciones a los problemas se implementen de manera rápida y eficiente. Como resultado, se mejora la cohesión del equipo y se fomenta un ambiente de trabajo más colaborativo y proactivo, lo que reduce los malentendidos y aumenta la eficacia general del proyecto (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

D. Incremento en la Productividad y Eficiencia

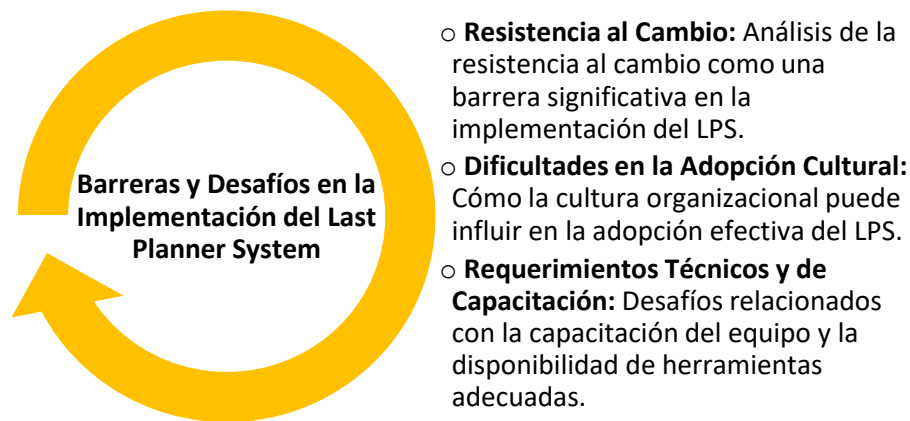
Estudios y casos prácticos que demuestran cómo el LPS mejora la productividad y eficiencia en los proyectos: La implementación del LPS ha demostrado, a través de diversos estudios y casos prácticos, un incremento significativo en la productividad y eficiencia de los proyectos de construcción. Un estudio de caso realizado en un proyecto de construcción de

infraestructura mostró que la adopción del LPS resultó en una reducción del tiempo de ciclo del proyecto en un 30% y una disminución del 20% en los costos operativos.

Otra investigación realizada en proyectos de edificación residencial encontró que el uso del LPS mejoró la productividad del equipo en un 25%, gracias a la eliminación de retrabajos y la optimización del flujo de trabajo. Estos resultados son consistentes con otros estudios que destacan cómo el LPS, al mejorar la planificación y la coordinación, reduce las pérdidas de tiempo y recursos, permitiendo que los proyectos se completen de manera más rápida y con menos desperdicio (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

2.1.3.5. Barreras y Desafíos en la Implementación del Last Planner System

La implementación del Last Planner System (LPS) en proyectos de construcción puede enfrentar múltiples barreras y desafíos que afectan su éxito. A pesar de los beneficios comprobados del LPS, la transición desde métodos tradicionales hacia este enfoque requiere superar obstáculos significativos, incluyendo la resistencia al cambio, las dificultades en la adopción cultural, y los requerimientos técnicos y de capacitación (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Figura 23.*Barreras y Desafíos en la Implementación del Last Planner System*

Fuente: Elaboración propia

⇒ **Resistencia al Cambio**

Análisis de la resistencia al cambio como una barrera significativa en la implementación

del LPS: La resistencia al cambio es uno de los mayores desafíos en la implementación del LPS. Este fenómeno se presenta cuando los empleados y stakeholders se aferran a las prácticas y metodologías tradicionales debido al temor a lo desconocido, la comodidad con el status quo, o la falta de comprensión de los beneficios que aporta el LPS. Esta resistencia puede manifestarse en varias formas, desde la falta de compromiso hasta la oposición activa a la adopción de nuevas prácticas. Según estudios realizados, la resistencia al cambio es una barrera común en la implementación de metodologías Lean en la construcción, ya que estas implican un cambio significativo en la forma en que se gestionan los proyectos y en la cultura de trabajo dentro de las organizaciones.

El LPS introduce un enfoque colaborativo y descentralizado en la toma de decisiones, lo cual puede ser percibido como una amenaza por aquellos que están acostumbrados a

estructuras jerárquicas y decisiones centralizadas. Además, la responsabilidad compartida que promueve el LPS puede generar incomodidad en los equipos que no están acostumbrados a asumir un papel activo en la planificación y ejecución de las tareas. Para superar esta resistencia, es esencial que la implementación del LPS esté respaldada por un liderazgo sólido que comunique claramente los beneficios del cambio y que involucre a todos los niveles de la organización en el proceso de transición (Ballard & Howell, 2003a; Falcón Guerra, 2022; Liker, 2004).

⇒ **Dificultades en la Adopción Cultural**

Cómo la cultura organizacional puede influir en la adopción efectiva del LPS: La cultura organizacional juega un papel crucial en la adopción efectiva del LPS. En muchas organizaciones, la cultura existente puede estar en desacuerdo con los principios Lean, como la transparencia, la colaboración y la mejora continua. Por ejemplo, en culturas organizacionales donde prevalece un enfoque jerárquico y autoritario, la implementación del LPS, que promueve la participación de todos los niveles en la toma de decisiones y la planificación, puede encontrarse con resistencia significativa. Este desajuste cultural puede dificultar la adopción del LPS y limitar su efectividad (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Para que el LPS sea adoptado con éxito, es necesario que la cultura organizacional se alinee con los principios Lean. Esto puede requerir un cambio cultural profundo, que incluya la redefinición de roles y responsabilidades, la promoción de una mentalidad de mejora continua, y la creación de un entorno donde la colaboración y la comunicación abierta sean valoradas y fomentadas. La alineación cultural es crucial para asegurar que todos los miembros de la organización comprendan y apoyen los objetivos del LPS, lo que a su vez facilita una

implementación más fluida y efectiva (Ayarkwa et al., 2011a; Calderon, 2020; Pons & Rubio, 2017).

⇒ **Requerimientos Técnicos y de Capacitación**

Desafíos relacionados con la capacitación del equipo y la disponibilidad de herramientas adecuadas: La implementación exitosa del LPS no solo depende de la voluntad de cambio y la adaptación cultural, sino también de la disponibilidad de las herramientas técnicas adecuadas y la capacitación del equipo. Uno de los principales desafíos es garantizar que todos los participantes en el proyecto tengan acceso a las herramientas necesarias para gestionar y visualizar el progreso de las tareas, como tableros Kanban y software de gestión de proyectos. La falta de estas herramientas o la incapacidad para utilizarlas eficazmente puede limitar la capacidad del equipo para aplicar los principios del LPS de manera efectiva (Patton, 1999b).

La **capacitación** es otro desafío crítico. El LPS requiere un nivel de competencia técnica y una comprensión profunda de los principios Lean que muchos equipos de construcción pueden no poseer inicialmente. Esto implica que se debe invertir en programas de capacitación continuos que no solo introduzcan a los equipos en las herramientas y técnicas del LPS, sino que también refuercen los principios Lean a lo largo del tiempo. La falta de capacitación adecuada puede llevar a una implementación superficial del LPS, donde los beneficios potenciales no se realizan plenamente debido a la aplicación incorrecta de las herramientas o la falta de comprensión de los principios subyacentes (Patton, 1999b).

2.1.4. Marco conceptual

2.1.4.1. Lean Construction

Definición operativa y aplicabilidad: Lean Construction es una filosofía de gestión adaptada de Lean Manufacturing, orientada a maximizar el valor del cliente mientras se

minimizan los desperdicios a lo largo de todo el proceso de construcción. Su aplicabilidad se extiende a todas las fases del proyecto, desde la planificación inicial hasta la ejecución y cierre, promoviendo la mejora continua y la eficiencia operativa en los proyectos de construcción.

Principios y características clave: Los principios fundamentales de Lean Construction incluyen la eliminación de desperdicios, la mejora continua (Kaizen), la optimización de flujos, y la integración y colaboración de todos los actores del proyecto. Características clave incluyen la planificación colaborativa, la flexibilidad en la gestión de recursos, y el enfoque en la creación de valor agregado en cada etapa del proyecto (Falcón, 2022; Falcon, 2017; Patton, 1999b).

A. Optimización de Costos

Definición y componentes: La optimización de costos en la construcción se refiere al proceso de gestionar y controlar los gastos de un proyecto para maximizar la eficiencia y minimizar el uso innecesario de recursos sin comprometer la calidad. Los componentes clave incluyen la planificación presupuestaria, la gestión de recursos, y la identificación de oportunidades de ahorro durante el ciclo de vida del proyecto (Patton, 1999b).

Métodos y técnicas relacionadas: Las técnicas relacionadas con la optimización de costos incluyen la aplicación de Value Engineering, análisis de costos-beneficios, gestión de riesgos, y la implementación de Lean Construction para reducir el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo. Estas técnicas permiten mejorar la precisión en la estimación de costos y asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente (Patton, 1999b).

B. Eficiencia Operativa

Definición y parámetros de medición: La eficiencia operativa en proyectos de construcción se define como la capacidad de realizar actividades con el mínimo de recursos necesarios, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de calidad. Los parámetros de medición

incluyen la productividad laboral, el tiempo de ciclo, la utilización de equipos, y la reducción de tiempos de inactividad.

Importancia en la gestión de proyectos: La eficiencia operativa es crucial para la gestión exitosa de proyectos, ya que influye directamente en la capacidad de completar proyectos dentro del tiempo y presupuesto establecidos. Una alta eficiencia operativa permite a las organizaciones maximizar el rendimiento de sus recursos y cumplir con los plazos y estándares de calidad (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

C. Calidad del Proyecto

Definición y dimensiones: La calidad del proyecto se refiere al grado en que las características de un proyecto satisfacen los requisitos especificados. Las dimensiones de la calidad incluyen la conformidad con las especificaciones técnicas, la durabilidad, la funcionalidad, y la satisfacción del cliente.

Indicadores y métricas relevantes: Los indicadores de calidad en un proyecto de construcción incluyen el número de defectos, la cantidad de retrabajos, la conformidad con las normas de construcción, y la satisfacción del cliente. Estas métricas permiten evaluar la eficacia de los controles de calidad implementados a lo largo del proyecto (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

D. Sostenibilidad

Definición y dimensiones: La sostenibilidad en la construcción se define como la capacidad de desarrollar proyectos que minimicen su impacto ambiental, promuevan el uso eficiente de recursos, y proporcionen beneficios económicos y sociales a largo plazo. Las dimensiones de la sostenibilidad incluyen la eficiencia energética, la gestión de residuos, y el uso de materiales reciclables y sostenibles.

Prácticas sostenibles en el contexto de la construcción: Las prácticas sostenibles en la construcción incluyen la implementación de tecnologías energéticamente eficientes, la reducción de emisiones de carbono, la gestión de residuos en el sitio de construcción, y la integración de diseño y construcción que minimicen el impacto ambiental (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

2.1.4.2. Interacción entre Lean Construction y Optimización de Costos

Cómo Lean Construction contribuye a la reducción de costos: Lean Construction reduce los costos al eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia en el uso de recursos, y optimizar la planificación y ejecución del proyecto. La aplicación de principios Lean permite una gestión más efectiva de los recursos, reduciendo la variabilidad y mejorando la predictibilidad de los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Ejemplos y evidencias empíricas: Estudios han demostrado que la implementación de Lean Construction puede reducir los costos operativos en un 20-30%, dependiendo del proyecto, al mejorar la coordinación entre equipos, reducir retrabajos, y optimizar el uso de materiales.

A. Impacto de Lean Construction en la Eficiencia Operativa

Relación entre prácticas Lean y mejora de la eficiencia: Las prácticas Lean mejoran la eficiencia operativa al enfocarse en la reducción de actividades que no añaden valor, la mejora continua de procesos, y la eliminación de cuellos de botella en el flujo de trabajo. Esto se traduce en un mayor rendimiento de los recursos y en la capacidad de completar más tareas con menos esfuerzo (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Estudios de caso y resultados prácticos: Diversos estudios de caso en proyectos de construcción han demostrado que la adopción de Lean Construction puede aumentar la eficiencia operativa en un 15-25%, gracias a la optimización de flujos de trabajo y la mejor gestión del tiempo y los recursos.

B. Influencia de Lean Construction en la Calidad del Proyecto

Mejora de la calidad mediante la implementación de Lean Construction: Lean Construction mejora la calidad del proyecto al promover un enfoque preventivo en la gestión de calidad, reduciendo defectos y retrabajos a través de una mejor planificación y coordinación. El enfoque en la mejora continua y la colaboración entre todos los actores del proyecto asegura que los estándares de calidad se mantengan a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Indicadores de calidad y resultados observados: La implementación de Lean Construction ha demostrado reducir el número de defectos y retrabajos en proyectos, mejorando la conformidad con las especificaciones técnicas y aumentando la satisfacción del cliente.

C. Contribución de Lean Construction a la Sostenibilidad

Relación entre prácticas Lean y sostenibilidad: Lean Construction contribuye a la sostenibilidad al reducir el desperdicio de materiales, mejorar la eficiencia energética, y fomentar el uso de prácticas de construcción más limpias y sostenibles. La filosofía Lean se alinea con los principios de sostenibilidad al optimizar el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental de los proyectos.

Beneficios ambientales y ejemplos prácticos: Proyectos que han implementado Lean Construction han reportado una reducción significativa en la generación de residuos y en el consumo de energía, contribuyendo a un menor impacto ambiental y a una mayor sostenibilidad a largo plazo (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

2.1.4.3. Last Planner System (LPS):

A. Definición operativa y aplicabilidad: El Last Planner System (LPS) es un sistema de planificación y control de producción desarrollado específicamente para la

industria de la construcción. Su objetivo principal es mejorar la fiabilidad de los cronogramas y aumentar la eficiencia del proyecto mediante la planificación colaborativa y la gestión activa de restricciones. El LPS es aplicable a todas las fases de un proyecto de construcción, desde el diseño hasta la ejecución, promoviendo un enfoque en la entrega fiable y en la reducción de la variabilidad en los procesos (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

Principios y características clave:

Los principios fundamentales del LPS incluyen:

- **Planificación Colaborativa:** Implica la participación activa de todos los involucrados en el proyecto para asegurar que las tareas sean viables y ejecutables.
- **Compromiso en la Ejecución:** Los equipos se comprometen a completar las tareas planificadas en el tiempo previsto.
- **Identificación y Eliminación de Restricciones:** El LPS se enfoca en identificar y eliminar las restricciones antes de que afecten la ejecución.
- **Monitoreo Continuo:** Implica la revisión diaria y semanal del progreso, lo que permite realizar ajustes en tiempo real.

B. **Plan Maestro (Master Plan):** El Plan Maestro es la primera capa del LPS y actúa como la hoja de ruta estratégica del proyecto, estableciendo los hitos y objetivos a largo plazo. Este plan proporciona una visión general de las actividades principales y sus interdependencias, y guía la planificación más detallada que ocurre en las fases posteriores.

C. **Plan Intermedio (Phase Planning):** El Plan Intermedio desglosa las actividades definidas en el Plan Maestro en tareas más detalladas que se pueden

gestionar y controlar mejor. Esta planificación detallada es crucial para asegurar que los hitos establecidos en el Plan Maestro sean alcanzables y se realicen de manera secuencial y eficiente (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

D. Plan Semanal (Lookahead Planning): El Plan Semanal, o Lookahead Planning, es el nivel más granular del LPS y se enfoca en la planificación de las actividades a corto plazo. Este plan garantiza que las tareas programadas sean viables, libres de restricciones y que los recursos necesarios estén disponibles.

E. Reuniones de Coordinación y Seguimiento: Las reuniones de coordinación y seguimiento son un componente central del LPS. Estas reuniones, que se realizan diariamente (stand-ups) y semanalmente, facilitan la comunicación entre los equipos, permiten la identificación y resolución de problemas en tiempo real, y aseguran que todos los miembros del equipo estén alineados con los objetivos del proyecto.

2.1.4.4. Interacción entre los Niveles de Planificación:

Relación entre Plan Maestro, Plan Intermedio y Plan Semanal: El LPS establece una conexión clara entre los diferentes niveles de planificación. El Plan Maestro proporciona la visión estratégica, el Plan Intermedio traduce esa visión en actividades detalladas y secuenciadas, y el Plan Semanal asegura la ejecución eficiente de esas actividades en un plazo corto. Esta estructura garantiza que las decisiones a nivel operativo estén alineadas con los objetivos estratégicos del proyecto (Falcón, 2022).

Impacto de la Planificación Colaborativa en la Ejecución del Proyecto:

Cómo la planificación colaborativa mejora la ejecución: La planificación colaborativa, un principio clave del LPS, involucra a todos los actores en el proceso de planificación, asegurando que cada tarea esté claramente entendida, acordada y que no existan restricciones antes de su ejecución. Esto mejora la predictibilidad de los cronogramas y reduce la

probabilidad de retrasos y retrabajos, lo que a su vez optimiza el flujo de trabajo y maximiza la eficiencia (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

2.1.4.5. Modelo Conceptual

A. Diagrama del Modelo Conceptual:

Representación gráfica: El modelo conceptual del LPS puede representarse mediante un diagrama que muestre la interrelación entre los diferentes niveles de planificación (Plan Maestro, Plan Intermedio, Plan Semanal) y su impacto en la ejecución del proyecto. Este diagrama debería visualizar cómo la planificación colaborativa y la eliminación de restricciones en cada nivel contribuyen al éxito global del proyecto (Ballard & Howell, 2003a; Falcón, 2022; Liker, 2004).

B. Hipótesis del Estudio:

Formulación de hipótesis:

- H1: La implementación del LPS mejora la fiabilidad de los cronogramas al reducir la variabilidad en los tiempos de ejecución.
- H2: La planificación colaborativa dentro del LPS reduce los retrabajos y mejora la eficiencia operativa.
- H3: La eliminación de restricciones a través del LPS incrementa la productividad y asegura el cumplimiento de los plazos.

Estas hipótesis se basan en la premisa de que el LPS, al promover una planificación detallada y colaborativa, optimiza la gestión de recursos y reduce los desperdicios, lo que se traduce en una mejora general en la ejecución de los proyectos de construcción.

III. MÉTODO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación se clasifica como **Básica** en su orientación, lo que significa que su propósito principal es generar conocimientos teóricos y contribuir a un mejor entendimiento de los fenómenos estudiados, específicamente en el contexto de la implementación de Lean Construction y el Last Planner System en la optimización de costos en la construcción. Según la técnica de contrastación, la investigación es **Explicativa**, ya que busca establecer relaciones de causa y efecto entre las variables involucradas, explorando cómo estas metodologías afectan los resultados en la construcción.

En cuanto a la direccionalidad, la investigación es **Prospectiva**, enfocándose en prever los efectos futuros de la aplicación de Lean Construction. Respecto a la fuente de recolección de datos, se considera **Retro-lectiva**, analizando eventos pasados para entender su influencia en los resultados presentes y futuros. La evolución del fenómeno es **Transversal**, dado que los datos se recopilan en un momento específico sin un seguimiento continuo a lo largo del tiempo. Finalmente, la investigación es **Comparativa**, ya que contrasta los resultados obtenidos antes y después de la implementación de las metodologías, con el objetivo de evaluar su impacto.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación alcanzado es de **Nivel IV**, de tipo **Predictivo II**, según la clasificación de Córdova y Monsalve (2013). La investigación es **Predictiva**, **Descriptiva**, **Explicativa**, y **Correlacional**. Es predictiva porque se centra en anticipar futuros daños y pérdidas potenciales, permitiendo así la planificación para minimizar estos riesgos. Es descriptiva y explicativa al proporcionar un análisis detallado de las incertidumbres y

comportamientos observados durante el estudio, utilizando herramientas como la simulación de Monte Carlo. Además, es correlacional porque examina la relación entre variables clave como costos, eficiencia y resiliencia, identificando cómo una variable afecta a la otra sin necesidad de manipularlas directamente, y proporcionando así una comprensión más profunda de las dinámicas involucradas (Hernández-Sampieri et al., 2010; Medina, 2014; Rinc, 2011).

3.1.3. Códigos y Nomenclaturas UNESCO

- 1208. Probabilidad
 - 120808. Procesos estocásticos
- 1209. Estadística
 - 120903. Análisis de Datos
- 3305. Tecnología de la Construcción
 - 330506. Ingeniería Civil
 - 330532. Ingeniería Estructural
 - 330533. Resistencia de Estructuras
- 6307. Cambio y Desarrollo Social
 - 630706. Desarrollo Socioeconómico
 - 630707. Tecnología y cambio social.
- 7201. Filosofía del conocimiento
 - 720105. Teoría de la Percepción

3.1.4. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es el plan estratégico que guía la recolección y análisis de los datos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio. Según Hernández-Sampieri et al. (2010) el diseño de investigación puede variar dependiendo del enfoque y naturaleza del estudio. Para la presente investigación, titulada **"Implementación del Lean Construction para Optimizar Costos en la Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco 2020"**, se aplicará un *diseño No Experimental, Transeccional o Transversal, Descriptivo, Correlacional – Causal*.

- **Diseño No Experimental:** Este estudio no implicará la manipulación deliberada de las variables involucradas. Los datos serán recolectados de manera observacional, capturando los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural. En este caso, se observará y analizará el impacto de la implementación de la metodología Lean Construction y del sistema Last Planner en la construcción de la PTAR en Cusco, sin intervenir directamente en las variables del proceso constructivo.
- **Diseño Transeccional o Transversal:** La recolección de datos se realizará en un solo momento en el tiempo. Esto permitirá describir y analizar cómo se manifiestan las variables clave, como la eficiencia operativa, la optimización de costos, y la calidad de la construcción, en un contexto específico, antes y después de la implementación de Lean Construction y Last Planner System. Este diseño es adecuado para entender la relación entre las variables en el contexto temporal del proyecto.
- **Diseño Transeccional Descriptivo:** En esta etapa, se describirán las variables relevantes del estudio, tales como la productividad de la obra, los tiempos de ejecución, y los costos antes y después de la implementación de Lean Construction. El objetivo es documentar con precisión la incidencia de estas variables y cómo se comportan dentro del entorno de la obra en Cusco.
- **Diseño Transeccional Correlacional – Causal:** Este enfoque permitirá explorar y establecer relaciones entre las variables investigadas. Por ejemplo, se analizará cómo la implementación de Lean Construction influye en la reducción de costos y la mejora en la eficiencia operativa. Además, se evaluarán las relaciones causales, es decir, cómo una variable afecta a otra, proporcionando una comprensión más profunda de los impactos de Lean Construction y Last Planner System en la construcción de la PTAR.

Este diseño integral permite una evaluación rigurosa y detallada de los efectos de la implementación de metodologías avanzadas de construcción en un proyecto específico, proporcionando así insights valiosos para la optimización de futuras obras en el sector.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de la presente investigación está constituida por todos los participantes involucrados en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco durante el año 2020. Esto incluye a ingenieros de proyecto, supervisores, personal administrativo de obra, obreros, maestros de obra, y otros operarios directamente vinculados al proceso constructivo. La población abarca aproximadamente 200 individuos que forman parte de los distintos niveles jerárquicos y funciones en el desarrollo del proyecto.

3.2.2. Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra se ha determinado utilizando un muestreo no probabilístico, ya que la investigación se enfoca en un seguimiento estricto y detallado del proceso constructivo en una obra específica. La muestra seleccionada comprende a los participantes que tienen un rol activo en la implementación del Lean Construction y el Last Planner System dentro del proyecto.

La muestra incluye a 50 participantes, distribuidos de la siguiente manera:

- **Ingenieros y supervisores:** 15 personas que están directamente involucradas en la planificación y supervisión de la obra.
- **Maestros de obra y operarios clave:** 25 personas que representan a aquellos con un rol crítico en la ejecución y seguimiento de los procesos Lean.

- **Obreros y otros trabajadores:** 10 personas que participan en la ejecución diaria de las tareas constructivas y que están expuestas a las prácticas Lean implementadas.

Dado que el enfoque es cualitativo y centrado en la experiencia directa de la implementación de Lean Construction, la muestra ha sido seleccionada considerando la relevancia y el impacto de los roles en la obra. Este método permite captar las percepciones y resultados específicos asociados con la implementación de Lean Construction y Last Planner System, lo que facilita un análisis detallado y aplicable a la realidad del proyecto.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Estrategia de Prueba de Hipótesis

La estrategia de prueba de hipótesis para esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo y comparativo, diseñado para evaluar el impacto de la implementación de Lean Construction y el Last Planner System en la optimización de costos y la eficiencia operativa en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco.

Pasos a Seguir:

a. Formulación de Hipótesis:

- **Hipótesis nula (H0):** La implementación de Lean Construction y el Last Planner System no tiene un impacto significativo en la optimización de costos y la eficiencia operativa en la construcción de la PTAR en Cusco.
- **Hipótesis alternativa (H1):** La implementación de Lean Construction y el Last Planner System tiene un impacto significativo en la optimización de costos y la eficiencia operativa en la construcción de la PTAR en Cusco.

b. Determinación de las Variables:

- **Variable independiente:** Implementación de Lean Construction y Last Planner System.
- **Variables dependientes:** Optimización de costos y eficiencia operativa en la construcción de la PTAR.

c. Selección de la Muestra:

- Se utilizará una muestra no probabilística compuesta por los participantes clave en el proyecto, como ingenieros, supervisores, maestros de obra y operarios. Estos individuos serán evaluados antes y después de la implementación de las metodologías Lean, y se analizarán los datos obtenidos para identificar cambios significativos.

d. Recolección de Datos:

- Los datos se recopilarán mediante encuestas, observación directa en la obra, y análisis de registros financieros y operativos del proyecto. Se realizarán dos mediciones clave: una antes de la implementación de Lean Construction y otra al final del proyecto, después de la implementación.

e. Análisis Estadístico:

- Se aplicarán pruebas estadísticas, como el **t-test** para muestras relacionadas o pareadas, para comparar los datos pre y post implementación y determinar si existen diferencias significativas en las variables dependientes.
- Adicionalmente, se utilizarán análisis de correlación para evaluar la relación entre la implementación de Lean Construction y las mejoras observadas en costos y eficiencia.

f. Evaluación de Resultados:

- Los resultados obtenidos se compararán con las hipótesis formuladas. Si los análisis estadísticos muestran diferencias significativas a favor de la hipótesis alternativa (H1), se rechazará la hipótesis nula (H0), confirmando que la implementación de Lean Construction y Last Planner System ha tenido un impacto positivo en el proyecto.

g. Conclusiones:

- Basado en los resultados, se emitirá una conclusión respecto a la validez de las hipótesis planteadas, lo que permitirá establecer recomendaciones sobre la implementación de estas metodologías en futuros proyectos de construcción.

Esta estrategia asegura que la prueba de hipótesis sea rigurosa y que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos, proporcionando una base sólida para evaluar el éxito de la implementación de Lean Construction en la optimización de costos y eficiencia en la construcción de la PTAR en Cusco.

Tabla 2.

Variables e indicadores – Operacionalización de variables: Análisis cuantitativa

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Implementación del lean construction	Cartas Balance	Trabajo productivo
		Trabajo contributorio
		Trabajo no contributorio
	Last Planner	Plan maestro
		Plan Intermedio
		Plan semanal
	Restricciones	Restricciones
VD: Optimización de costo	Presupuesto	Metrados
		Cuadrilla

Analisis de costos unitarios	Rendimiento
Control	Informes

Fuente: Elaboración propia.

Explicación:

- **Variable:** Es el concepto que se pretende medir y analizar en la investigación.
- **Indicadores:** Son las métricas específicas utilizadas para cuantificar las variables en estudio.
- **Descripción:** Explicación del indicador y cómo se relaciona con la variable.
- **Dimensión:** Se refiere al aspecto específico de la variable que se mide.
- **Tipo de Función:** Clasifica la variable como independiente o dependiente, indicando su rol en la hipótesis.
- **Escala:** La forma en que se medirá el indicador (ordinal, nominal, intervalo).

Tabla 3. Variables e indicadores – Operacionalización de variables – Análisis cualitativa

Variable	Indicadores	Descripción	Dimensión	Escala	Nivel de Investigación
Implementación de Lean Construction	Grado de Adopción de Lean Construction	Nivel en que se ha adoptado y aplicado Lean Construction en el proyecto.	Proceso de Implementación	Ordinal	Descriptivo
Optimización de Costos	Reducción porcentual de costos	Porcentaje de disminución de los costos totales tras la implementación de Lean Construction.	Costos Directos e Indirectos	Intervalo	Correlacional/Explicativo
Eficiencia en Planificación y Diseño	Tiempo de Planificación y Diseño	Tiempo empleado en la planificación y diseño del proyecto antes y después de Lean Construction.	Fase de Planificación	Intervalo	Descriptivo/Correlacional
Eficiencia en la Ejecución y Gestión	Productividad en la Ejecución	Incremento en el avance porcentual de la obra por unidad de tiempo tras la implementación de Lean Construction.	Fase de Ejecución	Intervalo	Correlacional/Explicativo
Gestión de Recursos	Utilización de Recursos	Eficiencia en el uso de recursos materiales y humanos en el proyecto.	Gestión de Recursos	Ordinal	Descriptivo/Correlacional
Calidad del Proyecto	Índice de Calidad	Número de defectos o retrabajos necesarios durante y después de la construcción.	Calidad de Construcción	Intervalo	Descriptivo/Explicativo
Sostenibilidad del Proyecto	Impacto Ambiental	Evaluación de la sostenibilidad ambiental del proyecto tras la implementación de Lean Construction.	Sostenibilidad	Ordinal	
Obstáculos en la Adopción de Lean	Número y Tipo de Obstáculos	Identificación y clasificación de los principales obstáculos para la adopción de Lean Construction.	Factores de Resistencia	Nominal	Descriptivo
Estrategias de Superación	Efectividad de Estrategias Propuestas	Grado de efectividad de las estrategias implementadas para superar los obstáculos en la adopción de Lean Construction.	Mejora Continua	Ordinal	Descriptivo/Correlacional
Recomendaciones para Implementación	Satisfacción con la Implementación	Nivel de aceptación y efectividad de las recomendaciones propuestas para la implementación de Lean Construction en futuros proyectos.	Mejora de Procesos	Ordinal	

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Técnicas de Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos en esta investigación se llevará a cabo utilizando herramientas estadísticas avanzadas que permiten organizar, depurar y transformar los datos recolectados en información útil para el análisis. Se empleará software especializado como SPSS o Microsoft Excel para codificar y tabular los datos provenientes de encuestas, observaciones y registros de obra. El procesamiento incluirá la verificación de la consistencia y coherencia de los datos, así como la corrección de errores y la gestión de datos faltantes. Una vez procesados, los datos estarán listos para ser analizados y utilizados en la interpretación de los resultados.

3.4.2. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información

El análisis de los datos se realizará mediante técnicas descriptivas, correlacionales y explicativas, dependiendo de las variables y objetivos específicos de la investigación.

- **Análisis Descriptivo:** Se utilizarán medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y dispersión (desviación estándar, varianza) para describir las características principales de las variables.
- **Análisis Correlacional:** Se aplicarán pruebas estadísticas como el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman para determinar la relación entre variables como la implementación de Lean Construction y la optimización de costos.
- **Análisis Explicativo:** Se utilizarán modelos de regresión y análisis de varianza (ANOVA) para explorar las relaciones de causa y efecto entre las variables independientes y dependientes, como el impacto de Lean Construction en la calidad y eficiencia del proyecto.

La interpretación de la información se basará en los resultados obtenidos del análisis estadístico, permitiendo extraer conclusiones relevantes y formulando recomendaciones basadas en los datos.

3.4.3. Instrumentos de Recolección de Datos según la Metodología

Para la recolección de datos se utilizarán diversos instrumentos, adaptados a las necesidades de cada fase del estudio:

- **Encuestas y Cuestionarios:** Se diseñarán cuestionarios estructurados para captar las percepciones y experiencias de los participantes respecto a la implementación de Lean Construction. Estas encuestas se aplicarán tanto antes como después de la implementación para evaluar cambios en la eficiencia, calidad y costos.
- **Observación Directa:** Se llevará a cabo un seguimiento en campo mediante la observación directa de los procesos constructivos. Se registrarán las actividades diarias, el uso de recursos y los tiempos de ejecución para comparar los resultados antes y después de la aplicación de Lean Construction.
- **Análisis Documental:** Se analizarán documentos como los planes de proyecto, informes de avance, y registros financieros para obtener información sobre los costos, tiempos y calidad del proyecto en las diferentes fases de implementación.

Cada instrumento de recolección de datos estará alineado con los objetivos de la investigación y permitirá obtener una visión integral del impacto de la metodología Lean Construction en el proyecto de construcción de la PTAR en Cusco.

3.5. Procedimientos

3.5.1. Validación de los Instrumentos

La validación de los instrumentos de recolección de datos es un paso crucial para garantizar la fiabilidad y validez de la información obtenida en la investigación. El proceso de validación se llevará a cabo de la siguiente manera:

Step 1: Validez de Contenido

- **Revisión de Expertos:** Los instrumentos, como encuestas y cuestionarios, serán revisados por un panel de expertos en Lean Construction, gestión de proyectos y metodología de la investigación. Estos expertos evaluarán si los ítems incluidos en los instrumentos cubren adecuadamente los aspectos esenciales del fenómeno que se investiga.
- **Piloto Preliminar:** Se realizará una prueba piloto con un grupo reducido de participantes que representen las características de la población de estudio. El objetivo es identificar posibles problemas de comprensión, redacción, o relevancia de las preguntas.

Step 2: Validez de Constructo

- **Análisis Factorial:** Se utilizará el análisis factorial exploratorio para verificar si los ítems del cuestionario agrupan en factores que corresponden a las dimensiones teóricas propuestas. Este análisis ayudará a determinar si los indicadores miden adecuadamente los constructos definidos en las hipótesis.

Step 3: Confiabilidad

- **Prueba de Consistencia Interna:** Se aplicará el coeficiente de Alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de los instrumentos de recolección de datos. Un valor de Alfa superior a 0.70 será considerado aceptable, indicando que los ítems del instrumento son coherentes entre sí y miden de manera estable el mismo constructo.

- **Test-Retest:** Se llevará a cabo un test-retest con un pequeño grupo de participantes para evaluar la estabilidad temporal del instrumento. Esto implica aplicar el instrumento en dos momentos diferentes y comparar los resultados obtenidos para verificar su consistencia.

Step 4: Validez de Criterio

- **Correlación con Medidas Externas:** Se comprobará la validez de criterio mediante la correlación de los resultados obtenidos con los instrumentos de la investigación con otras medidas o estándares reconocidos. Por ejemplo, se podría comparar la eficiencia reportada en las encuestas con los registros de productividad y costos del proyecto.

Este proceso de validación asegura que los instrumentos utilizados en la investigación proporcionen datos precisos y útiles para evaluar el impacto de la implementación de Lean Construction en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco. Con esta validación, se aumenta la confiabilidad de los resultados obtenidos y la credibilidad de las conclusiones del estudio.

3.6. Análisis De Datos

El análisis de datos en esta investigación se llevará a cabo de manera sistemática utilizando herramientas estadísticas y metodologías adecuadas para responder a los objetivos planteados. El proceso se desarrollará en las siguientes etapas:

- ⇒ **Codificación y Organización de Datos:** Los datos recolectados a través de encuestas, observaciones y análisis documental serán codificados y organizados en bases de datos electrónicas, utilizando software como SPSS o Microsoft Excel. Se garantizará que los datos estén completos y coherentes antes de proceder al análisis.

- ⇒ **Análisis Descriptivo:** Se aplicarán técnicas de estadística descriptiva para resumir y describir las características principales de las variables. Esto incluirá el cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y de dispersión (desviación estándar, varianza). Estos análisis proporcionarán una visión general del comportamiento de las variables clave, como costos, eficiencia y calidad del proyecto.
- ⇒ **Análisis Correlacional:** Se utilizarán pruebas estadísticas, como el coeficiente de correlación de Pearson o Spearman, para evaluar la relación entre las variables. Este análisis permitirá determinar si existe una asociación significativa entre la implementación de Lean Construction y la optimización de costos, así como con la eficiencia operativa y la calidad del proyecto.
- ⇒ **Análisis de Regresión:** Se realizarán análisis de regresión para identificar las relaciones causales entre las variables independientes (como la implementación de Lean Construction) y las variables dependientes (como los costos y la calidad). Esto permitirá evaluar el impacto de Lean Construction en los resultados del proyecto.
- ⇒ **Interpretación de Resultados:** Los resultados obtenidos se interpretarán en el contexto de la investigación, comparándolos con las hipótesis planteadas. Se extraerán conclusiones relevantes que permitirán validar o refutar las hipótesis, y se identificarán las implicaciones prácticas de los hallazgos.

3.7. Consideraciones Éticas

La investigación se desarrollará respetando los más altos estándares éticos, garantizando la integridad, confidencialidad y bienestar de todos los participantes. Las consideraciones éticas que guiarán este estudio incluyen:

- ⇒ **Consentimiento Informado:** Todos los participantes involucrados en la recolección de datos, ya sea a través de encuestas, entrevistas u observaciones, recibirán información detallada sobre los objetivos de la investigación, el uso de los datos y su derecho a retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Se obtendrá el consentimiento informado por escrito antes de iniciar cualquier proceso de recolección de datos.
- ⇒ **Confidencialidad y Anonimato:** La confidencialidad de la información personal y profesional de los participantes será estrictamente protegida. Los datos recolectados serán codificados para asegurar el anonimato y serán utilizados exclusivamente con fines de investigación. Los resultados se presentarán de manera agregada, sin identificar a ningún participante de forma individual.
- ⇒ **Integridad Académica:** La investigación se llevará a cabo con el compromiso de mantener la integridad académica en todas las etapas del proceso. Esto incluye la correcta citación de fuentes, la originalidad en el análisis y la presentación de resultados, y la adherencia a los principios de honestidad y transparencia en la interpretación de los datos.
- ⇒ **No Maleficencia:** Se garantizará que la investigación no cause ningún daño físico, emocional o psicológico a los participantes. Cualquier riesgo potencial será identificado y mitigado antes de iniciar la recolección de datos, y se proporcionará apoyo en caso de que algún participante experimente incomodidad durante el estudio.

⇒ **Contribución al Conocimiento:** Este estudio tiene como objetivo contribuir de manera significativa al conocimiento sobre la implementación de Lean Construction en proyectos de infraestructura en Perú, sin perjuicio de los derechos y bienestar de los participantes. Los resultados serán compartidos de manera transparente y podrán servir como base para futuras investigaciones en el campo de la construcción.

Estas consideraciones éticas asegurarán que la investigación no solo cumpla con las normativas y estándares académicos, sino que también respete y proteja los derechos y dignidad de todos los involucrados.

IV. RESULTADOS

4.1. Introducción.

El presente capítulo se enfoca en la presentación y análisis de los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología Lean Construction en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco, durante el año 2020. La investigación se llevó a cabo con el objetivo de optimizar los costos de construcción, aplicando las prácticas Lean en cada fase del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución y finalización de las obras.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en estudio incluyó la construcción de áreas críticas como el clorinador, la zona UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), y la sala de sopladores, todos ellos componentes esenciales para el correcto funcionamiento de la planta. Para asegurar la calidad y cumplimiento normativo, se aplicaron las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones, así como estándares específicos para estructuras sismo resistentes, cimentaciones, concreto armado, y plantas de tratamiento de aguas residuales. Los resultados presentados en este capítulo se derivan de un riguroso seguimiento del proceso constructivo, en el que se incluyeron actividades de movimiento de tierras, relleno y compactado, trabajos con concreto simple y armado, encofrados, colocación de acero, y aplicación de acabados específicos. Además, se evaluaron los costos totales asociados a la obra, que ascendieron a S/. 1,125,679.67, permitiendo realizar comparaciones precisas entre el presupuesto estimado y los costos finales tras la implementación del enfoque Lean. Este análisis tiene como objetivo principal demostrar cómo la aplicación de Lean Construction permitió no solo optimizar los costos sino también mejorar la eficiencia en la ejecución de las obras, minimizando los desperdicios de tiempo y materiales, y asegurando un control de calidad superior en cada una de las fases constructivas. Los resultados obtenidos servirán como referencia para futuras

implementaciones de esta metodología en proyectos similares, especialmente en el sector de infraestructura hidráulica.

4.1.1. Estrategia de la Implementación de Lean Construction

La implementación de Lean Construction y Last Planner System (LPS) se lleva a cabo en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco, con una duración total de 20 semanas. El proyecto se dividió en dos fases clave: una fase inicial de 8 semanas en la que se utilizó un enfoque convencional sin la aplicación de ninguna metodología específica, seguida de una segunda fase de 12 semanas en la que se implementaron todos los principios y técnicas de Lean Construction y LPS. Esta estrategia también incluyó la capacitación exhaustiva de todo el personal involucrado directamente en la productividad de la obra.

Fase 1: Ejecución Convencional (Semana 1 a 8)

Durante las primeras 8 semanas, el proyecto se ejecutó utilizando métodos tradicionales de gestión de la construcción. Esta fase permitió establecer una línea base para comparar la eficiencia y efectividad de la metodología convencional con los resultados obtenidos tras la implementación de Lean Construction y LPS. Las actividades realizadas incluyeron:

- **Planificación Inicial:** Desarrollada de manera centralizada con un cronograma maestro.
- **Ejecución de Tareas:** Supervisión y seguimiento de tareas sin un enfoque colaborativo ni continuo en la eliminación de restricciones.
- **Control de Calidad y Costos:** Realizado de forma reactiva, con inspecciones de calidad y ajustes en los costos conforme avanzaba el proyecto.

- **Seguimiento:** Monitoreo convencional del progreso, sin reuniones colaborativas ni revisiones detalladas del estado de las tareas.

Fase 2: Implementación de Lean Construction y Last Planner System (Semana 9 a 20)

A partir de la semana 9, se implementaron Lean Construction y LPS en el proyecto, con un enfoque en maximizar la eficiencia, reducir desperdicios y mejorar la calidad y la predictibilidad del proyecto. La estrategia de implementación incluyó los siguientes pasos técnicos y específicos:

- Capacitación del Personal: Sesiones de Capacitación Inicial:** Todo el personal directamente involucrado en la obra, incluyendo gerentes de proyecto, supervisores, contratistas y operarios, recibió formación intensiva sobre los principios de Lean Construction y el uso del Last Planner System. **Workshops y Simulaciones:** Se realizaron talleres prácticos y simulaciones para asegurar que los participantes comprendieran cómo aplicar las nuevas metodologías en el contexto de sus actividades diarias.
- Planificación Colaborativa: Plan Maestro Revisado:** Se revisó y ajustó el cronograma maestro para reflejar la nueva estrategia de implementación, identificando claramente las fases y hitos del proyecto. **Phase Planning:** Desglose del plan maestro en fases detalladas, con la participación activa de todos los stakeholders para asegurar la viabilidad de cada fase. **Lookahead Planning (Planificación Semanal):** Implementación de planes semanales detallados para asegurar la ejecución eficiente de las tareas, anticipando y eliminando restricciones.
- Ejecución y Seguimiento: Reuniones Diarias (Daily Stand-ups):** Establecimiento de reuniones diarias para revisar el progreso, resolver problemas en tiempo real y ajustar

tareas según sea necesario. **Reuniones Semanales de Coordinación:** Revisión semanal del avance del proyecto, ajuste de planes semanales y revalidación de las tareas planificadas. **Gestión Visual:** Uso de tableros Kanban y otras herramientas visuales para facilitar la transparencia y la comunicación efectiva del estado del proyecto.

- d) **Control de Calidad y Mejora Continua: Prevención de Defectos:** Implementación de controles de calidad preventivos, asegurando que las tareas se ejecuten correctamente desde el principio. **Ciclos de Mejora Continua (Kaizen):** Realización de ciclos de mejora continua para identificar y eliminar desperdicios, optimizando procesos y flujos de trabajo.
- e) **Monitoreo y Evaluación de Resultados: Cuantificación de Resultados:** Seguimiento detallado del impacto de Lean Construction y LPS en la productividad, eficiencia, calidad y costos del proyecto. **Encuestas de Satisfacción y Evaluación:** Se desarrollaron encuestas en dos etapas para evaluar la percepción y satisfacción de los trabajadores antes (semana 1 a 8) y después (semana 9 a 20) de la implementación de Lean Construction y LPS.

Evaluación de la Implementación

La estrategia de implementación de Lean Construction y Last Planner System se diseñó para maximizar el impacto positivo en la ejecución del proyecto. Se llevó a cabo un seguimiento continuo y una evaluación exhaustiva para cuantificar los resultados y validar la efectividad de las metodologías aplicadas. La recopilación de datos a través de encuestas y la comparación con la línea base establecida en las primeras 8 semanas permitieron una evaluación integral de los beneficios obtenidos, destacando mejoras significativas en la eficiencia, reducción de costos y aumento de la calidad del proyecto. Esta estrategia integral y técnica asegura que todos los participantes comprendan y apliquen correctamente las

metodologías Lean Construction y LPS, promoviendo una cultura de mejora continua y colaboración que contribuye al éxito del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Cusco.

4.1.1.1. Flujo de Procesos de Ejecución Convencional en la obra

Durante las primeras 8 semanas de la ejecución del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Cusco, se observó un enfoque convencional que siguió un flujo de trabajo tradicional. Este proceso comenzó con la planificación inicial, donde se definieron los objetivos generales y se desarrolló un cronograma maestro. Sin embargo, a medida que avanzaba la obra, se evidenció que este enfoque se caracterizaba por una falta de anticipación a los problemas y una tendencia a reaccionar a los desafíos conforme surgían. La planificación inicial no incluyó una evaluación colaborativa de las restricciones, lo que resultó en ajustes frecuentes y retrabajos que impactaron negativamente en la eficiencia del proyecto. La supervisión de la obra se realizó de manera periódica, con un seguimiento del progreso y la identificación de restricciones y problemas en tiempo real. No obstante, la resolución de estos problemas fue mayormente reactiva, lo que llevó a retrasos y al incremento de los costos asociados con la corrección de defectos y ajustes en el cronograma. Las inspecciones de calidad, aunque realizadas según lo planeado, revelaron defectos que podrían haberse evitado con una planificación más proactiva y una mayor colaboración entre los equipos de trabajo. La falta de integración y comunicación efectiva entre los actores del proyecto fue un factor determinante en los desafíos observados durante esta fase (figura 24).

Figura 24.*Flujo de Procesos de una Ejecución Convencional*

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, al aproximarse el final de la fase de ejecución convencional, se notaron ineficiencias tanto en la gestión de costos como en el control de plazos. Los ajustes en el presupuesto y el cronograma se realizaron sobre la marcha, a medida que los problemas se

hacían evidentes, lo que no solo retrasó la finalización de algunas actividades, sino que también incrementó los costos más allá de lo inicialmente proyectado. Este análisis evidenció la necesidad de implementar un enfoque más estructurado y preventivo, como Lean Construction y Last Planner System, para mejorar la eficiencia y reducir los desperdicios en la siguiente fase del proyecto.

4.1.1.2. Flujo de Procesos de Ejecución bajo el Enfoque Lean Construction con Last Planner System (LPS)

Durante las semanas 9 a 20 del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco, se implementaron las metodologías Lean Construction y Last Planner System (LPS), marcando un cambio significativo en la ejecución del proyecto. Esta fase comenzó con una planificación colaborativa, donde se desarrolló un cronograma maestro detallado y se identificaron las restricciones que podían afectar el flujo de trabajo. La participación activa de todos los stakeholders en la planificación permitió anticipar problemas y asegurar que las tareas fueran realistas y alcanzables. Además, la planificación semanal (Lookahead Planning) jugó un papel crucial al asegurar la viabilidad de las actividades a corto plazo, eliminando las restricciones antes de que impactaran la ejecución.

La ejecución de la obra bajo este enfoque se caracterizó por un seguimiento continuo y reuniones diarias de coordinación (Daily Stand-ups), donde se revisaba el progreso y se resolvían problemas en tiempo real. Este enfoque proactivo no solo mantuvo el proyecto dentro del cronograma planificado, sino que también mejoró la calidad de la construcción a través de un control preventivo continuo. La aplicación de técnicas de mejora continua (Kaizen) permitió optimizar los procesos y reducir los desperdicios, lo que se tradujo en un aumento significativo de la eficiencia operativa.

Figura 25.

Flujo de Procesos de Ejecución bajo el Enfoque Lean Construction con Last Planner

System (LPS)



Fuente: elaboración Propia

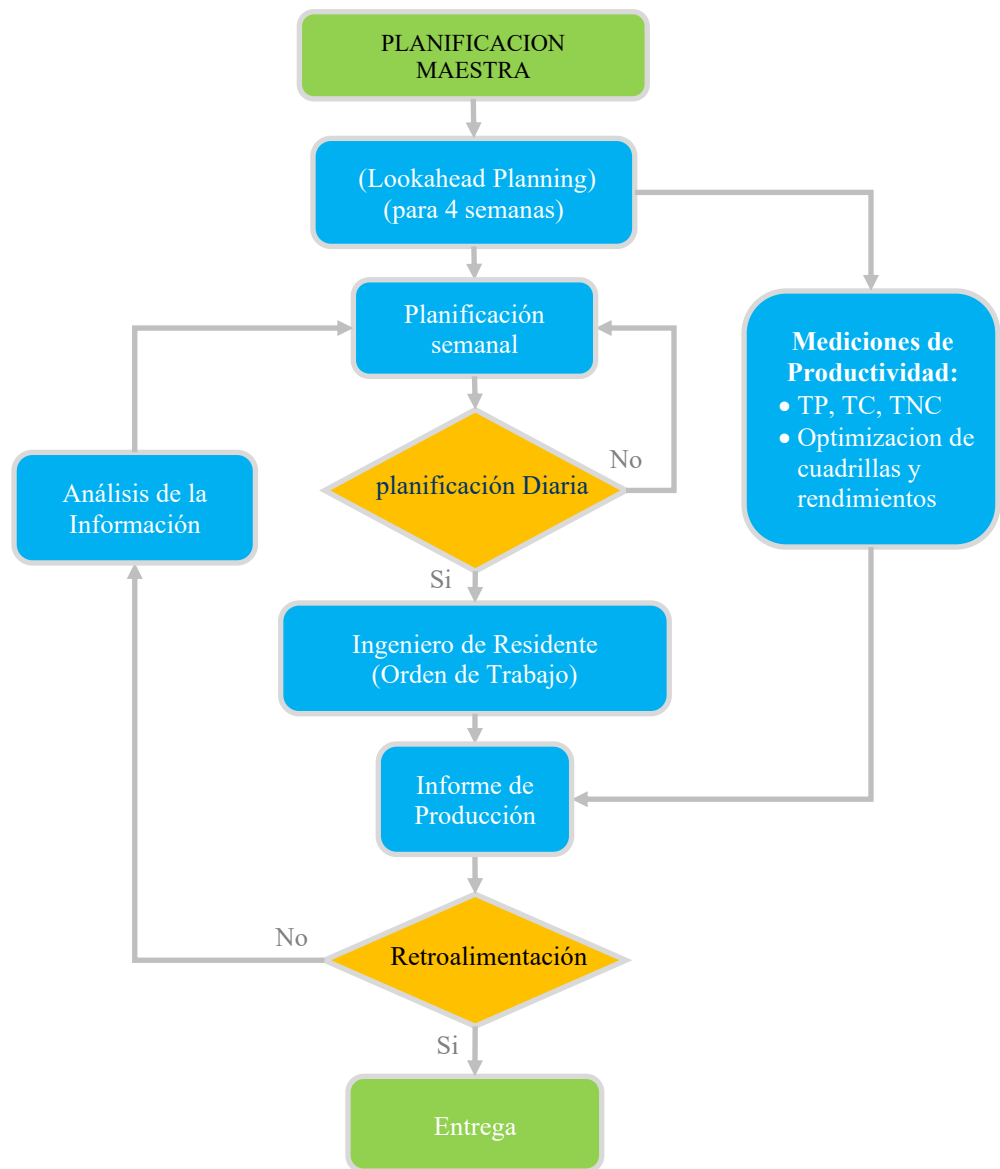
El control de costos y plazos se manejó de manera proactiva mediante el uso de indicadores de rendimiento, asegurando que el proyecto se completara dentro del presupuesto y con altos estándares de calidad. La entrega del proyecto se realizó sin contratiempos, con una inspección continua de calidad y ajustes finales según fuera necesario. La implementación de Lean Construction y LPS resultó en resultados altamente satisfactorios, demostrando la eficacia de estas metodologías para mejorar la gestión de proyectos complejos, en comparación con la fase inicial donde se utilizó un enfoque convencional.

El Figura 25, ilustra el flujo de tareas bajo la implementación del Last Planner System (LPS) en la ejecución de la obra de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco. Este sistema se centra en la planificación colaborativa y en la ejecución controlada, asegurando que cada actividad se realice en el tiempo y con los recursos previstos. El proceso comienza con la Planificación Maestra, que establece el cronograma global del proyecto. Este plan maestro se desglosa en actividades más manejables a través de la Planificación Lookahead para las próximas cuatro semanas, un paso fundamental que permite identificar y mitigar restricciones antes de que impacten en el progreso de la obra. La revisión continua de las actividades planificadas asegura que todas las tareas sean viables y estén alineadas con los objetivos generales del proyecto. El siguiente paso es la Planificación Semanal, donde se ajustan las actividades a corto plazo, garantizando la coherencia con el plan maestro. Esta planificación se refina aún más a nivel diario mediante la Planificación Diaria, que organiza las actividades específicas de cada jornada laboral. En esta etapa, se realizan mediciones de productividad que incluyen indicadores como TP, TC y TNC, los cuales son críticos para la optimización de las cuadrillas y el rendimiento en el sitio de obra. Estas mediciones no solo permiten un ajuste en tiempo real de los recursos, sino que también aseguran que las actividades se ejecuten con la máxima eficiencia posible. El Ingeniero de Residente juega un rol clave en

este flujo, emitiendo órdenes de trabajo basadas en la planificación diaria, lo que permite un control efectivo y puntual de las tareas.

Figura 26.

Flujo de tareas en el sistema Last Planner



Fuente: Elaboración propia

Una vez que las actividades diarias son ejecutadas, se elabora un Informe de Producción que documenta el progreso y captura cualquier desviación respecto al plan. Este informe sirve como base para la Retroalimentación, un componente crucial del Last Planner System, donde

se analizan los datos para realizar ajustes en los planes y abordar cualquier problema identificado. Este ciclo de planificación, ejecución y retroalimentación asegura una mejora continua, permitiendo que el proyecto avance de manera controlada y eficiente hacia su Entrega. Al final de este flujo de trabajo, la obra se completa con un nivel de calidad óptimo y dentro de los plazos y costos previstos, demostrando la eficacia del Last Planner System en la gestión de proyectos de construcción complejos.

Descripción del Flujo de Tareas:

- a) **Planificación Maestra:** El proceso comienza con la **Planificación Maestra**, donde se establece el cronograma global del proyecto. Este cronograma se desglosa en actividades más detalladas, proporcionando una visión general del alcance y las etapas clave de la obra.
- b) **Lookahead Planning (para 4 semanas):** A partir del plan maestro, se realiza la **Planificación Lookahead** para las próximas cuatro semanas. Este paso es crucial para identificar y resolver posibles restricciones antes de que impacten en el progreso de la obra, asegurando que todas las actividades planificadas sean viables.
- c) **Planificación Semanal:** Cada semana, se revisa y ajusta la planificación a corto plazo, alineando las actividades semanales con los objetivos del plan maestro. Esta fase de planificación semanal es esencial para mantener la coherencia y asegurar la ejecución efectiva de las tareas.
- d) **Planificación Diaria:** Dentro de cada semana, se realiza una **Planificación Diaria** para organizar las actividades específicas del día. Si las condiciones son favorables y no se identifican restricciones, se procede con las órdenes de trabajo.
- e) **Mediciones de Productividad y Optimización:** Simultáneamente, se llevan a cabo mediciones de productividad (TP, TC, TNC) y optimización de cuadrillas y

rendimientos. Estas mediciones ayudan a ajustar los recursos y mejorar la eficiencia operativa.

- f) **Orden de Trabajo del Ingeniero de Residente:** El **Ingeniero de Residente** emite órdenes de trabajo basadas en la planificación diaria, asegurando que las tareas se ejecuten según lo planificado.
- g) **Informe de Producción:** Se elabora un **Informe de Producción** para documentar el progreso, identificar posibles desviaciones, y proporcionar datos clave para la retroalimentación.
- h) **Retroalimentación:** La retroalimentación es un componente crítico que se basa en el análisis de la información recopilada en los informes de producción. Si es necesario, se ajustan los planes para mejorar los procesos y abordar cualquier problema identificado.
- i) **Entrega:** Finalmente, una vez que todas las actividades se han completado y los resultados han sido validados, se realiza la entrega del proyecto, cerrando así el ciclo de ejecución bajo el sistema Last Planner.

Este flujo de trabajo refleja cómo el Last Planner System proporciona una estructura robusta y adaptable para gestionar la ejecución de la obra, permitiendo un control continuo y mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier eventualidad, con el objetivo final de entregar un proyecto de alta calidad dentro de los plazos y costos establecidos.

4.1.1.3.Partidas y presupuesto de obra

El presupuesto de la obra para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco se presenta de manera detallada, desglosando los costos asociados a diferentes actividades de construcción, las cuales se agrupan en categorías principales. A continuación, se describe el contenido del presupuesto en función de las principales partidas:

- **Movimiento de Tierras: Total: S/. 37,288.51.** Incluye actividades como el relleno con afirmado y compactado de piso y el relleno con material excedente en el perímetro del UASV. Estas actividades son fundamentales para preparar el terreno sobre el que se realizarán las estructuras.
- **Concreto Simple: Total: S/. 26,206.65.** Comprende el uso de concreto para diferentes aplicaciones básicas como la losa de piso y cimientos en la sala de sopladores. Estas partidas abarcan el concreto sobre platea, falsos cimientos y losas de piso, que son esenciales para la estabilidad y nivelación de la estructura.
- **Concreto Armado: Total: S/. 833,686.25.** Esta es la partida más costosa, que incluye la construcción de muros, columnas, vigas y otros elementos estructurales con concreto armado. Se detalla el uso de concreto con una resistencia especificada ($F'C=280$ KG/CM²) y el encofrado y desencofrado, así como la utilización de acero de refuerzo y curado con productos químicos para garantizar la durabilidad y resistencia de las estructuras.
- **Acabados: Total: S/. 228,498.26.** Incluye recubrimientos en diferentes áreas como los tanques UASB y la sala de sopladores, así como trabajos de carpintería metálica, incluyendo pasamanos y plataformas metálicas. Estos acabados son vitales para la funcionalidad y seguridad de las instalaciones.
- **Costos Directos: Total: S/. 1,125,679.67.** El costo directo total de la obra incluye todos los costos de materiales, mano de obra y actividades descritas anteriormente, proporcionando una visión clara del presupuesto necesario para la ejecución completa del proyecto.

Este desglose permite una gestión precisa y controlada del presupuesto, asegurando que todos los aspectos críticos del proyecto se consideren y se asignen los recursos adecuados para su correcta ejecución.

Tabla 4.

Presupuesto de obra, partidas a ejecutar

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
03.00.00.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				S/. 37,288.51
03.08.00.00	RELLENO CON AFIRMADO Y COMPACTADO DE PISO, AL 100% DEL PROC	m3	109.54	135.00	S/. 14,788.51
03.10.00.00	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL EXCEDENTE EN TODO EL PER	m3	200.00	112.50	S/. 22,500.00
04.00.00.00	CONCRETO SIMPLE				S/. 26,206.65
04.01.00.00	CONCRETO SOBRE PLATEA PARA DAR PENDIENTES AL PISO, 1:10+25% P	m3	21.00	315.00	S/. 6,615.00
04.02.00.00	FALSO CIMIENTO DE CONCRETO EN BLOWER ROOM 1:12 + 30% PG	m3	26.49	315.00	S/. 8,344.35
04.03.00.00	LOSA DE PISO DEL BLOWER ROOM E=20 cm CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	6.50	450.00	S/. 2,925.00
04.04.00.00	CIMIENTO CONCRETO EN BLOWER ROOM f'c=100 kg/cm2 + 30% PG	m3	26.42	315.00	S/. 8,322.30
05.00.00.00	CONCRETO ARMADO				S/. 833,686.25
05.05.01.01	MUROS				S/. 499,086.05
05.05.01.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	380.78	315.00	S/. 119,945.70
05.05.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	1,968.51	157.50	S/. 310,040.33
05.05.01.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	9,355.00	4.95	S/. 46,307.25
05.05.01.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	1,965.80	9.00	S/. 17,692.20
05.05.01.05	JUNTA CON WATER STOP	ml	150.00	27.00	S/. 4,050.00
05.05.01.06	JUNTA DE DILATACION CON TECNOPOR DE 2"	m2	77.82	13.50	S/. 1,050.57
05.05.02.00	CLORINADOR				S/. 85,674.83
05.05.02.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	59.87	315.00	S/. 18,859.05
05.05.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	400.87	157.50	S/. 63,137.03
05.05.02.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	385.23	9.00	S/. 3,467.07
05.05.02.06	JUNTA DE DILATACION CON TECNOPOR DE 2"	m2	15.68	13.50	S/. 211.68
05.06.01.00	COLUMNAS				S/. 25,265.13
05.06.01.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	8.70	315.00	S/. 2,740.50
05.06.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	88.96	157.50	S/. 14,011.20
05.06.01.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	1,592.03	4.95	S/. 7,880.55
05.06.01.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	70.32	9.00	S/. 632.88
05.06.02.00	SALA DE SOPLADORES				S/. 9,158.93
05.06.02.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	2.38	315.00	S/. 749.70
05.06.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	25.44	157.50	S/. 4,006.80
05.06.02.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	889.38	4.95	S/. 4,402.43
05.07.01.00	VIGAS				S/. 127,522.63
05.07.01.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	56.78	315.00	S/. 17,885.70
05.07.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	496.95	157.50	S/. 78,269.63
05.07.01.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	5,623.81	4.95	S/. 27,837.86
05.07.01.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	392.16	9.00	S/. 3,529.44
05.07.02.00	SALA DE SOPLADORES				S/. 12,156.05
05.07.02.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	7.05	315.00	S/. 2,220.75
05.07.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	40.13	157.50	S/. 6,320.48
05.07.02.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	613.14	4.95	S/. 3,035.04
05.07.02.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	64.42	9.00	S/. 579.78
05.08.01.00	LOSA DE TECHO				S/. 58,577.05
05.08.01.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	31.00	315.00	S/. 9,765.00
05.08.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	204.24	157.50	S/. 32,167.80
05.08.01.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	2,991.13	4.95	S/. 14,806.09
05.08.01.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	204.24	9.00	S/. 1,838.16
05.08.02.00	CLORINADOR				S/. 5,343.69
05.08.02.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	1.88	315.00	S/. 592.20
05.08.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	27.80	157.50	S/. 4,378.50
05.08.02.03	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	57.16	4.95	S/. 282.94
05.08.02.04	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	10.01	9.00	S/. 90.05
05.08.03.00	SALA DE SOPLADORES				S/. 10,901.89
05.08.03.01	CONCRETO F'C=280 KG/CM2	m3	3.21	315.00	S/. 1,011.15
05.08.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	32.07	157.50	S/. 5,051.03
05.08.03.03	LADRILLO HUECO DE 0.15X0.3X0.3	un	286.00	13.50	S/. 3,861.00
05.08.03.04	ACERO FY=4200 KG/CM2	kg	115.90	4.95	S/. 573.71
05.08.03.05	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	m2	45.00	9.00	S/. 405.00
06.00.00.00	ACABADOS				S/. 228,498.26
06.01.00.00	RECUBRIMIENTOS				
06.01.00.00	UASB				S/. 84,725.37
06.01.01.01	RECUBRIMIENTO EN PISOS Y TECHOS (TANQUE DE COMPENSACIÓN HD	m2	587.50	85.50	S/. 50,231.25
06.01.01.02	RECUBRIMIENTO EN MUROS Y TECHOS (TANQUE ANAERÓBICO HDPE 3	m2	403.44	85.50	S/. 34,494.12
06.01.03.00	SALA DE SOPLADORES (TODO COSTO)				S/. 52,118.33
06.01.03.01	MURO DE LADRILLO KK DE CABEZA	m2	69.76	353.25	S/. 24,642.72
06.01.03.02	RECUBRIMIENTO EN MUROS, PISOS Y TECHOS (TARRAJEO DE MUROS)	m2	153.57	112.50	S/. 17,276.63
06.01.03.03	TARRAJEO DE CIELO RASO	m2	33.33	135.00	S/. 4,499.55
06.01.03.04	PISO DE CEMENTO PULIDO	m2	33.33	171.00	S/. 5,699.43
06.02.00.00	CARPINTERIA METALICA (TODO COSTO)				S/. 91,654.56
06.02.00.01	PASAMANOS SEGUN DETALLE. INC. ARENADO, ANTICORROSIVO Y ACAB	ml	76.00	900.00	S/. 68,400.00
06.02.00.02	PLATAFORMA METALICA SEGUN DETALLES DE PLANO. INCLUYE PINTUR	m2	25.84	900.00	S/. 23,254.56
	COSTO DIRECTO				1,125,679.67

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.4. Actividades de la ejecución del proyecto

4.1.1.5. Implementación de LC y LPS

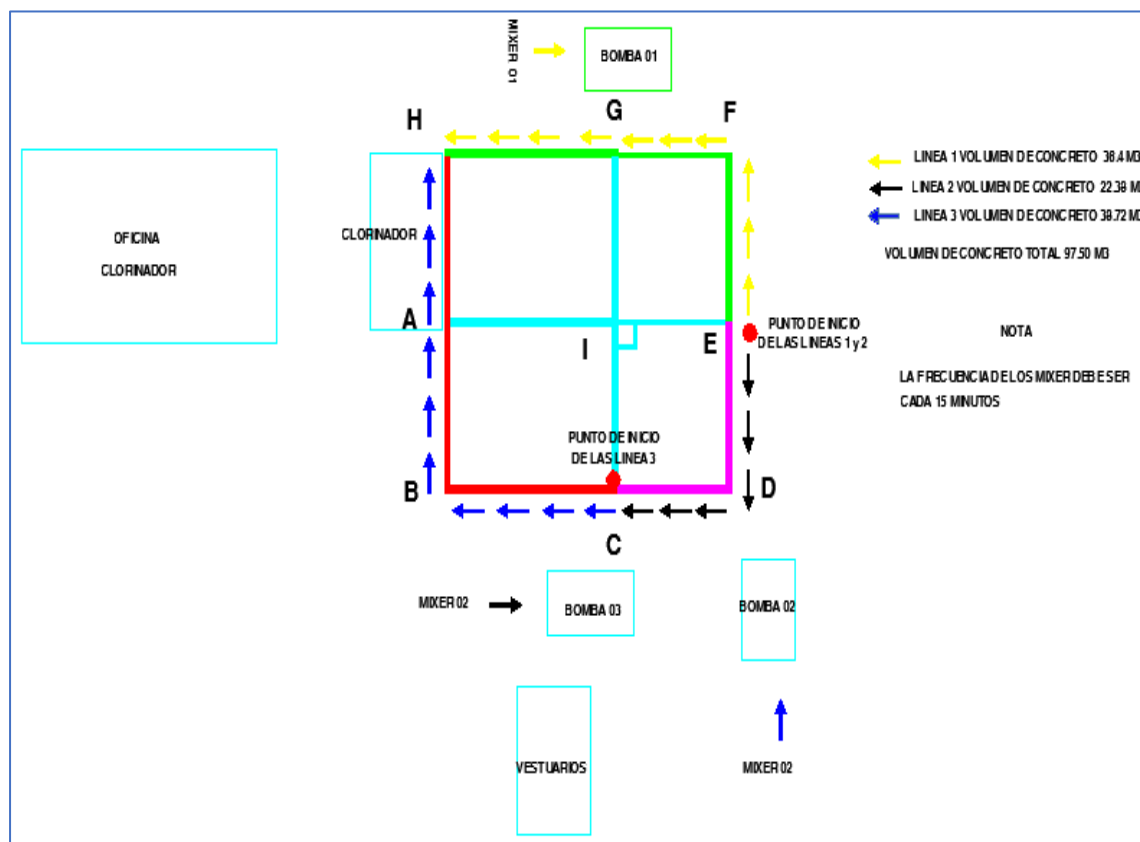
La implementación del Last Planner System (LPS) en el proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la empresa Backus marcó un cambio significativo en la gestión del proyecto, alineándose con la filosofía Lean Construction. Este enfoque se centró en tres etapas clave del sistema Lean de entrega de proyectos: construcción Lean, control de producción y trabajo estructurado. La adopción de estas prácticas permitió optimizar los recursos, mejorar la productividad y asegurar la calidad en cada fase del proyecto.

Durante la fase de **construcción Lean**, se utilizaron varias herramientas fundamentales. Una de las primeras fue **First Run Studies**, un proceso que implicó la planificación inicial y el análisis detallado del proyecto. Este análisis incluyó la sectorización y el diseño del flujo de actividades, aspectos que fueron cruciales para el dimensionamiento eficiente de las cuadrillas de trabajo. Posteriormente, se utilizó la herramienta **Nivel General de Actividad** para estudiar los procesos a nivel general y obtener ratios de trabajos productivos, contribuyentes y no contribuyentes. La **Carta de Balance** también jugó un papel importante en esta fase, permitiendo analizar cómo se distribuía el tiempo de trabajo en cada actividad específica, ayudando a identificar áreas de mejora en la distribución de tareas y en la eficiencia operativa. En la fase de **control de producción**, la implementación del **Last Planner System** fue central. Este sistema abarcó el planeamiento, la programación y el control del proyecto, asegurando que las actividades se ejecutaran según lo planificado. Los componentes específicos del LPS, como la planificación maestra, el lookahead (planificación a corto plazo para 4 semanas), la planificación semanal y el análisis del porcentaje de plan completado, fueron fundamentales para mantener el proyecto en curso y dentro de los plazos establecidos. Además, se realizó un análisis exhaustivo de las causas de no cumplimiento, lo que permitió ajustar las estrategias y tomar medidas correctivas oportunas. Finalmente, en la fase de **trabajo estructurado**, se

implementó la herramienta de **Buffers**, diseñada para mantener un flujo constante en el proyecto. Esta herramienta proporcionó soluciones alternativas ante los desafíos surgidos por la variabilidad inherente a la construcción, asegurando que el proyecto no se viera afectado por retrasos imprevistos y manteniendo la estabilidad en el cronograma. Cada una de estas herramientas se integró dentro del flujo de trabajo que se describe en el gráfico del Last Planner System, que abarcó desde la planificación maestra hasta la entrega final del proyecto. Esta implementación no solo mejoró la eficiencia y la productividad, sino que también aseguró un control riguroso de la calidad y los costos a lo largo de la ejecución de la obra.

4.1.1.6. Sectorización y planificación de desplazamiento en la obra

La **sectorización** es una actividad crítica dentro del proceso de planificación y ejecución del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Cusco. Este proceso se inicia una vez completados los metrados pertinentes del proyecto, y tiene como objetivo principal dividir el área de trabajo en sectores manejables que permitan una organización más eficiente de los recursos y actividades. La sectorización es fundamental para la formación de trenes de trabajo, la planificación detallada, la programación y el dimensionamiento adecuado de las cuadrillas, todo lo cual es esencial para cumplir con los plazos y garantizar la calidad del trabajo. El proyecto en estudio, ejecutado por Bakus SAC, es pionero en la aplicación de este procedimiento de sectorización dentro de la empresa, lo que subraya la importancia de estandarizar este proceso para futuras obras. Inicialmente, se propone un número tentativo de sectores basado en la dimensión del proyecto, la cantidad de personal disponible, y el procedimiento de instalación que se llevará a cabo. Este enfoque incluye la consideración de partidas clave, como la instalación de líneas de vapor, cuya productividad diaria está determinada por la tecnología utilizada. Una vez determinados los sectores, estos se dibujan en las plantillas del proyecto, buscando equilibrar los metrajes asignados a cada sector para optimizar los recursos y el tiempo de ejecución.

Figura 27.*Esquema de sectorización por líneas o circuitos*

Fuente: Elaboración propia

En el caso específico de la PTAR en Cusco, se estableció una sectorización inicial de tres sectores, como se muestra en la figura adjunta. Cada sector ha sido asignado de acuerdo con las necesidades del proceso de instalación y considerando la secuencia lógica de las actividades. El figura 27, ilustra cómo se distribuyen las líneas de concreto (Línea 1, Línea 2, y Línea 3), con volúmenes específicos asignados a cada una, lo que refleja la importancia de la planificación detallada y la coordinación efectiva entre los diferentes componentes del proyecto. La elección de un número menor de sectores permite reducir el tiempo de ejecución del proyecto, asegurando al mismo tiempo que los procedimientos de instalación se lleven a cabo de manera eficiente y conforme a las normas técnicas establecidas.

- ⇒ Concreto Simple: **Concreto sobre Platea, Falso Cimiento y Losa de Piso:** Estas actividades se ejecutan inmediatamente después del movimiento de tierras, asegurando que las bases y cimientos estén listas para soportar las estructuras superiores. El trabajo en concreto simple es continuo, con un enfoque en la calidad y el cumplimiento de los tiempos programados.
- ⇒ Concreto Armado: **Muros, Columnas y Vigas:** Estas actividades constituyen el grueso de la semana, con trabajos intensivos en el encofrado, colocación de acero de refuerzo, y curado del concreto armado. Cada una de estas actividades está programada para maximizar la eficiencia y minimizar el tiempo de inactividad. **Sala de Sopladores y Clorinador:** La construcción de estas áreas específicas sigue el mismo enfoque de concreto armado, con un alto nivel de coordinación entre las cuadrillas para asegurar que las estructuras se completen dentro del cronograma.
- ⇒ Acabados: **Losa de Techo:** A medida que los trabajos de estructura avanzan, se inicia la colocación de la losa de techo, marcando la conclusión de las fases estructurales y el inicio de las actividades de acabado. **Recubrimientos y Carpintería Metálica:** Estas actividades de acabado se llevan a cabo al final de la semana, asegurando que todas las superficies y elementos estructurales cumplan con los estándares de calidad requeridos. La colocación de recubrimientos en muros, pisos y techos, junto con la instalación de pasamanos y plataformas metálicas, es clave para la funcionalidad y estética final de la instalación.
- ⇒ Cableado y Limpieza: **Cableado de Alimentadores Eléctricos y Redes de Agua:** En paralelo con las actividades de acabado, se realiza la instalación de sistemas eléctricos y de agua, preparando la planta para su operación. **Limpieza y Detalles Finales:** Al final de la semana, se realizan actividades de limpieza y revisión, asegurando que todas las áreas estén listas para la inspección final y entrega del proyecto.

⇒ Análisis del Avance: El gráfico muestra un control riguroso del porcentaje de cumplimiento (PPC) diario y semanal, asegurando que cada actividad se complete al 100% dentro de su plazo asignado. Las actividades se distribuyen y secuencian de manera que el flujo de trabajo sea continuo y eficiente, minimizando tiempos muertos y maximizando la productividad.

Este tren de actividades, organizado según las partidas específicas, refleja una planificación detallada y un control preciso del proyecto, asegurando que todas las tareas se ejecuten de manera oportuna y de acuerdo con los estándares de calidad esperados.

Figura 29.

Tren de actividades de las partidas ejecutadas concreto

PPC	Descripción de Partidas	SEMANA 20									
		05-may		06-may		07-may		08-may		09-may	
		L		M		X		J		V	S
	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL EXCEDENTE EN TODO EL PERIMETRO	3	100%	2	100%	2	100%	2	100%	2	0%
	CONCRETO SIMPLE	3	100%	3	100%	3	100%	3	0%	3	0%
	CONCRETO SOBRE PLATEA PARA DAR PENDIENTES AL PISO. 1:10+25% PM	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	FALSO CIMIENTO DE CONCRETO EN BLOWER ROOM 1:12 + 30% PG	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	LOSA DE PISO DEL BLOWER ROOM E=20 cm CONCRETO f'c=210 kg/cm2	3	100%	3	100%	2	100%	3	100%	3	100%
	CIMIENTO CONCRETO EN BLOWER ROOM f'c=100 kg/cm2 + 30% PG	3	100%	3	100%	2	100%	3	100%	3	100%
	CONCRETO ARMADO	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	MUROS	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%
	ACERO FY=4200 KG/CM2	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%	1.5	100%
	JUNTA CON WATER STOP	.20	100%	.21	100%	.22	100%	.23	100%	.24	100%
	JUNTA DE DILATACION CON TECNOPOR DE 2"	.21	100%	.22	100%	.23	100%	.24	100%	Arequipa-F4	100%
	CLORINADOR 1	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	4	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	JUNTA DE DILATACION CON TECNOPOR DE 2"	4	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	COLUMNAS	4	100%	4	100%	3	100%	3	0%	3	0%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4	0%	4	0%	4	0%	4	0%	4	0%
	ACERO FY=4200 KG/CM2	3	0%	3	0%	3	0%	3	0%	3	0%
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	SALA DE SOPLADORES 1	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%	3	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ACERO FY=4200 KG/CM2	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	VIGAS	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ACERO FY=4200 KG/CM2	4	100%	4	100%	4	100%	4	0%	4	0%
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	SALA DE SOPLADORES 2	4	0%	4	0%	4	0%	4	0%	4	0%
	CONCRETO FC=280 KG/CM2			4	100%	4	100%	4	100%	4	100%
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO					4	100%	4	100%	4	100%
	ACERO FY=4200 KG/CM2							4	100%	4	100%
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO									4	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 30.*Tren de actividades de las partidas ejecutadas acabados*

PPC	Descripción de Partidas	SEMANA 20													
		05-may		06-may		07-may		08-may		09-may		10-may			
		L		M		X		J		V		S			
	LOSA DE TECHO	M2-P4-P5	100%	M2-P6-P7	100%	M2-P8-P9	100%	M2-P10-P11	100%	M2-P12-P13	100%	M2-P14-P15	100%		
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	P4	100%	P6	100%	P8	100%	P10	100%	P12	100%	P14	100%		
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	P10	100%	P10	100%	P10	100%	P11	100%	P11	100%	P11	100%		
	ACERO FY=4200 KG/CM2	P8	100%	P9	100%	P9	100%	P9	100%	P10	100%	P10	100%		
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	P8	10%	P8	100%	P9	100%	P9	100%	P9	100%	P10	100%		
	CLORINADOR 2	P6	100%	P6	100%	P7	100%	P7	100%	P7	100%	P8	100%		
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	P3	100%	P4	100%	P4	100%	P4	100%	P5	100%	P5	100%		
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	P3	100%	P4	100%	P4	100%	P4	100%	P5	100%	P5	100%		
	ACERO FY=4200 KG/CM2	P3	100%	P3	100%	P4	100%	P4	100%	P4	100%	P5	100%		
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO	P3	100%	P3	100%	P3	100%	P4	100%	P4	100%	P4	100%		
	SALA DE SOPLADORES 3	P2	100%	P3	100%	P3	100%	P3	100%	P4	100%	P4	100%		
	CONCRETO FC=280 KG/CM2	P2	100%	P3	100%	P3	100%	P3	100%	P4	100%	P4	100%		
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	P2	100%	P2	100%	P3	100%	P3	100%	P3	100%	P4	100%		
	LADRILLO HUECO DE 0.15X0.3X0.3	P2	100%	P2	100%	P3	100%	P3	100%	P3	100%	P4	100%		
	ACERO FY=4200 KG/CM2	P2	100%	P2	100%	P2	100%	P3	100%	P3	100%	P3	100%		
	CURADO CON PRODUCTO QUIMICO			P2	100%	P2	100%	P2	100%	P3	100%	P3	100%		
	Cableado de Alimentadores Electricos(Departamentos)			P2	100%	P2	100%	P2	100%	P3	100%	P3	100%		
	Pinlura en cieloraso (primera mano)					P2	100%	P2	100%	P2	100%	P3	100%		
	Cableado Electrico (Tomacorrientes,Alumbrado,Luces de Emergencia en Pasillos)					P2	100%	P2	100%	P2	100%	P3	100%		
	Colocacion de medidores							P2	100%	P2	100%	P2	100%		
	Pruebas Electricas-Meghado							P2	100%	P2	100%	P2	100%		
	Colocación de accesorios en puertas pasillos									P2	100%	P2	100%		
	Sellado de vidrios											P2	100%		
	Limpieza y drenaje de redes de agua											P2	100%		
331		49		51		54		57		59		61			

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.8. Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel

En el ámbito de la construcción convencional, es común que el maestro de obra tenga la potestad de decidir el número de obreros a contratar para un proyecto. Esta práctica, aunque arraigada, a menudo resulta en una sobrecarga de personal en la obra, lo que disminuye los niveles de trabajo productivo y genera ineficiencias. La falta de una metodología clara para determinar la cantidad óptima de personal provoca incertidumbre, especialmente cuando se presentan retrasos. En muchos casos, la solución adoptada consiste en aumentar el número de obreros sin un análisis previo, lo que a su vez conduce a proyecciones imprecisas y un uso ineficiente de la mano de obra, debilitando además el poder de negociación con el personal para cumplir con los objetivos del proyecto. Para abordar estas deficiencias, se ha desarrollado un procedimiento específico alineado con los principios de la filosofía Lean Construction, conocido como el "Circuito Fiel". Este enfoque tiene como finalidad calcular con precisión el número exacto de trabajadores necesarios para ejecutar cada actividad (o partida) dentro del proyecto, asegurando así que los rendimientos previstos al inicio del proyecto se cumplan o incluso se superen, logrando una productividad superior a la media del sector.

El proceso del Circuito Fiel se inicia una vez que se ha completado la sectorización del proyecto, la cual permite obtener los volúmenes de trabajo correspondientes a cada cuadrilla. Aunque el objetivo es que estos volúmenes sean iguales en cada sector, esto no siempre es posible, pero sí se pueden lograr metrados bastante similares. Estos metrados por sector constituyen el punto de partida para el dimensionamiento de cuadrillas. Además, el rendimiento presupuestado, que ha sido optimizado siguiendo los principios de Lean Construction, actúa como la meta que debe alcanzarse o superarse en la obra. Este rendimiento presupuestado es crucial, ya que refleja la capacidad de la empresa para realizar trabajos de manera más eficiente que los estándares tradicionales del sector.

Procedimiento del Circuito Fiel:

- **Selección de la Partida:** Se elige la actividad específica para la cual se desea dimensionar la cuadrilla.
- **Establecimiento de Horas de Trabajo:** Se determina el número de horas diarias trabajadas, que en este caso se establece en 8 horas.
- **Cálculo de Costos en Horas Hombre (HH):** Se calcula el costo en horas hombre para evaluar el impacto económico de aumentar o reducir el número de trabajadores en la cuadrilla.
- **Rendimiento Presupuestado:** Se toma como referencia el rendimiento presupuestado obtenido a partir de los análisis de precios unitarios correspondientes a la partida seleccionada.
- **Asignación de Metrados por Sector:** Con base en el tren de trabajo, que usualmente implica la ejecución de un sector por día, se asignan los metrados correspondientes a cada día.

- **Cálculo de Horas Hombre Diarias:** Dado que el personal se mantiene constante, las horas de trabajo por día se calculan multiplicando el número de personas por 8 horas.
- **Elaboración de la Tabla de Control:** Se elabora una tabla que incluye las HH diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados, y el rendimiento presupuestado.
- **Iteraciones y Comparación de Rendimientos:** Finalmente, se realizan iteraciones con diferentes números de trabajadores, comparando el rendimiento obtenido con el rendimiento presupuestado. Esto permite ajustar el tamaño de la cuadrilla para asegurar que no se sobredimensione y que se mantenga la eficiencia del proyecto.

El **Circuito Fiel** se presenta, así como una herramienta poderosa dentro de Lean Construction, que no solo optimiza el uso de los recursos humanos en la obra, sino que también garantiza que las actividades se ejecuten con la máxima eficiencia posible, minimizando costos y mejorando la productividad general del proyecto.

4.1.1.9. Medición del nivel General de actividad de obra

La medición del nivel general de actividad de obra es una herramienta esencial utilizada en el estudio de tiempos y movimientos, un enfoque comúnmente empleado en la ingeniería industrial para mejorar la eficiencia operativa. Esta medición tiene como objetivo cuantificar cómo se distribuye el tiempo de trabajo de los obreros en la obra entre tres categorías principales: Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributorio (TC), y Trabajo No Contributorio (TNC).

En la obra Residencial Calicanto, se implementó esta medición mediante un recorrido aleatorio por todo el sitio de construcción, donde se tomaron muestras representativas de las actividades de todos los obreros. Para asegurar una evaluación precisa y representativa, se realizaron observaciones a intervalos de 15 minutos, registrando la actividad que cada

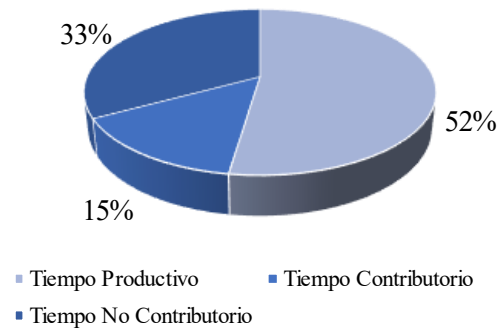
trabajador estaba llevando a cabo en ese momento. Las actividades se clasificaron en las categorías de TP, TC, y TNC, y se desglosaron según las partidas específicas de encofrados, acero y concreto.

- **Trabajo Productivo (TP):** Incluye todas las actividades directamente vinculadas a la creación de valor, como el montaje de encofrados, colocación de acero y vertido de concreto.
- **Trabajo Contributorio (TC):** Comprende tareas que, aunque no crean valor directamente, son necesarias para facilitar el trabajo productivo, como la preparación de herramientas, ajuste de encofrados, y transporte de materiales.
- **Trabajo No Contributorio (TNC):** Engloba actividades que no aportan valor y que idealmente deberían minimizarse o eliminarse, como esperas innecesarias, tiempos muertos y desplazamientos improductivos.

Este enfoque de medición permite identificar áreas de mejora en la utilización del tiempo de los obreros, facilitando la implementación de estrategias Lean Construction para optimizar la productividad y reducir el desperdicio en la obra.

Figura 31.

Distribución de trabajo TP, TC y TNC antes de la implementación de LC y LPS



Fuente: Elaboración propia

La Figura 31, muestra la distribución del trabajo en términos de Tiempo Productivo (TP), Tiempo Contributivo (TC) y Tiempo No Contributivo (TNC) antes de la implementación de las metodologías Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) en el proyecto.

1. **Tiempo Productivo (52%):** Antes de la implementación de LC y LPS, el 52% del tiempo de trabajo fue clasificado como productivo. Esto indica que, aunque más de la mitad del tiempo se utilizaba en actividades que directamente aportaban valor al proyecto, todavía había un margen significativo para mejorar la eficiencia y aumentar esta proporción.
2. **Tiempo Contributivo (15%):** El 15% del tiempo fue contributivo, es decir, tiempo dedicado a actividades de soporte que, aunque no añaden valor directo, son necesarias para que las actividades productivas puedan llevarse a cabo. Esta proporción sugiere que existían áreas donde se podían optimizar los procesos de apoyo.
3. **Tiempo No Contributivo (33%):** Un tercio del tiempo (33%) fue no contributivo, reflejando una cantidad considerable de tiempo invertido en actividades que no agregaban valor al proyecto. Esta categoría incluye tiempos muertos, esperas y otros

tipos de ineficiencias que podrían reducirse mediante una mejor planificación y gestión de recursos.

Análisis: La distribución de trabajo antes de la implementación de LC y LPS revela que existe una oportunidad considerable para mejorar la productividad y eficiencia del proyecto. Con un 33% del tiempo dedicado a actividades no contributivas, la introducción de metodologías como Lean Construction y Last Planner System podría reducir estos tiempos no productivos, mejorar la utilización del tiempo contributivo y aumentar la proporción de tiempo productivo, contribuyendo significativamente a la optimización de los costos y tiempos del proyecto.

4.1.2. Principales Perdidas en los procesos de producción.

Al analizar la distribución del tiempo de trabajo en la obra, es evidente que la eficiencia del proceso se ve gravemente afectada por una alta proporción de **Tiempo No Contributivo (TNC)** y **Tiempo Contributivo (TC)**, lo que deja un porcentaje relativamente bajo de **Tiempo Productivo (TP)**.

Distribución del Tiempo:

- **Tiempo Productivo (TP):** Representa el 52% del tiempo total empleado en la obra. Este tiempo se dedica a actividades que añaden valor directo al proyecto, como la ejecución de tareas de construcción propiamente dichas. Sin embargo, la mitad del tiempo de trabajo aún no se dedica a actividades productivas, lo que indica una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia.
- **Tiempo Contributivo (TC):** Constituye el 15% del tiempo total. Este tiempo incluye actividades como limpieza, transportes, mediciones e instrucciones. Estas actividades son necesarias, pero no contribuyen directamente al avance del proyecto. En la categoría de **Tiempo Contributivo**, la limpieza se lleva una parte considerable debido

a la falta de cuadrillas especializadas y una planificación deficiente. El transporte y las mediciones también son afectados por deficiencias en la distribución de las instalaciones y el desorden de materiales.

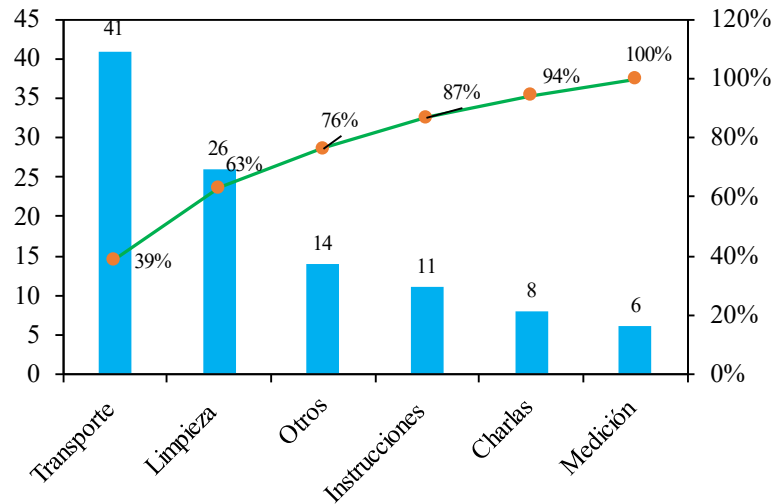
- **Tiempo No Contributivo (TNC):** El 33% del tiempo de trabajo se clasifica como no contributivo, lo que es alarmante. Esto incluye tiempos de espera, viajes innecesarios, tiempo ocioso, y actividades relacionadas con la corrección de errores. Las esperas y los viajes representan las principales causas de este tiempo perdido, a menudo debido a la falta de frentes de trabajo disponibles, un flujo de materiales inadecuado, y un sobredimensionamiento de las cuadrillas, lo que sugiere que la planificación y coordinación en la obra son deficientes.

El alto porcentaje de Tiempo No Contributivo y Contributivo refleja ineficiencias significativas en la gestión del proyecto. Esto implica que una gran parte del tiempo se destina a actividades que no contribuyen directamente al avance del proyecto, lo que retrasa su ejecución y aumenta los costos. La implementación de metodologías como Lean Construction y Last Planner System podría mejorar estos indicadores, optimizando la asignación de recursos, mejorando la planificación y reduciendo el tiempo no productivo.

La figura 32 y la tabla 5, proporcionan una visión detallada del tiempo contributivo en la obra sin la implementación de Lean Construction. Los datos revelan que el transporte ocupa el mayor porcentaje del tiempo contributivo, representando un 39% del total con 41 horas dedicadas a esta actividad. Esto sugiere una considerable inversión de tiempo en el traslado de materiales o personal, lo cual podría estar relacionado con una logística ineficiente en el sitio de construcción. La limpieza es la segunda actividad con mayor tiempo contributivo, representando el 25% con 26 horas. Esto podría indicar una necesidad de mejorar los procedimientos de limpieza para reducir el tiempo dedicado a esta tarea sin afectar la calidad del trabajo.

Figura 32.

Tiempos Contributivos Sin la implementación de Lean Construction



Fuente Elaboración propia

Las actividades categorizadas como "Otros" ocupan un 13% del tiempo, lo cual sugiere la presencia de tareas diversas no especificadas que también contribuyen significativamente al tiempo total. Instrucciones, charlas y mediciones representan un menor porcentaje del tiempo contributivo, con 10%, 8%, y 6% respectivamente. Aunque estos tiempos son menores, su acumulación podría señalar inefficiencias en la comunicación y coordinación del equipo, que podrían ser optimizadas mediante mejores procesos de planificación y gestión.

En conjunto, los resultados muestran que una gran parte del tiempo contributivo podría ser optimizado mediante la implementación de técnicas más eficientes de gestión, como las ofrecidas por la metodología Lean Construction, con el objetivo de reducir tiempos improductivos y mejorar la eficiencia global del proyecto.

Tabla 5.*Tiempos Contributivos Sin la implementación de Lean Construction*

Tiempo Contributivo		106	Horas	
	Actividad	F	%	Acumulado
T	Transporte	41	39%	39%
L	Limpieza	26	25%	63%
X	Otros	14	13%	76%
I	Instrucciones	11	10%	87%
CH	Charlas	8	8%	94%
M	Medición	6	6%	100%
		106		

Fuente Elaboración propia

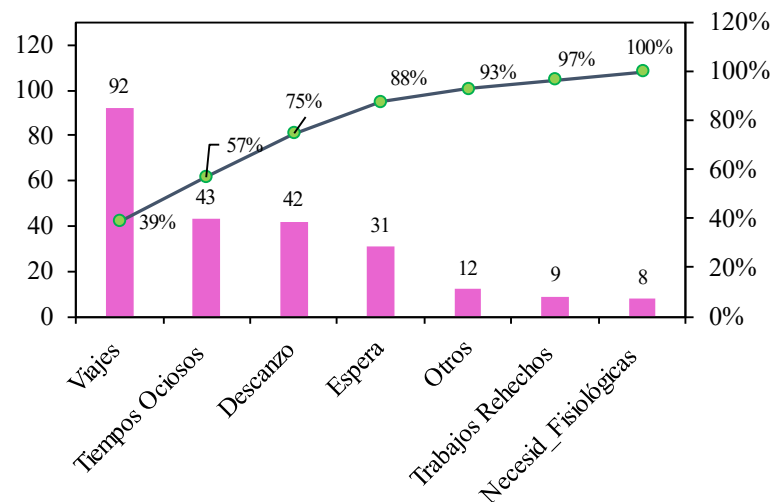
La figura 33 y la tabla 6 presentan un análisis detallado de los **Tiempos No Contributivos (TNC)** antes de la implementación de la metodología **Lean Construction** en la obra en cuestión. Estos resultados reflejan un escenario en el cual los procesos constructivos están acompañados de diversas pérdidas de tiempo que no aportan directamente a la producción.

1. **Viajes:** Esta actividad representa el 39% del tiempo no contributivo total, siendo la principal causa de pérdidas en la obra. Con 92 horas registradas, los viajes innecesarios o mal planificados indican un problema significativo en la logística de la obra, probablemente relacionado con la distribución ineficiente de materiales o equipos en el sitio de trabajo.
2. **Tiempos ociosos y Descanso:** Ambas categorías suman el 36% del tiempo no contributivo. Los tiempos ociosos, con 43 horas, podrían reflejar la falta de una supervisión adecuada o la ausencia de tareas asignadas a los trabajadores en ciertos momentos. El descanso, con 42 horas, aunque necesario, sugiere que su frecuencia y duración podrían estar afectando negativamente la productividad si no están bien regulados.

3. **Espera:** Con 31 horas (13% del TNC), este tiempo se relaciona directamente con la falta de frentes de trabajo o retrasos en la llegada de materiales, lo que causa paradas forzosas en la producción.
4. **Otros tiempos no contributivos** como trabajos rehechos (4%) y necesidades fisiológicas (3%) representan un menor porcentaje del total, pero siguen siendo áreas que podrían optimizarse para mejorar la eficiencia global del proyecto.

Figura 33.

Tiempos no Contributivos Sin la implementación de Lean Construction



Fuente Elaboración propia

La alta proporción de tiempo no contributivo evidencia la necesidad de una planificación más efectiva, mejor distribución de recursos y una supervisión más rigurosa para reducir estas pérdidas y mejorar la eficiencia en la obra. La implementación de **Lean Construction** podría ofrecer soluciones efectivas para abordar estos problemas, disminuyendo considerablemente las horas de actividades no productivas.

Tabla 6.*Tiempos no Contributivos Sin, Lean Construction*

Tiempo no Contributivo		237	Horas	
Actividad		F	%	Acumulado
V	Viajes	92	39%	39%
N	Tiempos Ociosos	43	18%	57%
D	Descanzo	42	18%	75%
E	Espera	31	13%	88%
Y	Otros	12	5%	93%
R	Trabajos Rehechos	9	4%	97%
B	Necesid_Fisiológicas	8	3%	100%
		237		

Fuente Elaboración propia

La Tabla 7 proporciona un análisis detallado del rendimiento laboral antes de la implementación de las metodologías Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) en el proyecto. La información se presenta desglosada por tipo de trabajador (operario, oficial, ayudante) y refleja cómo se distribuyó el tiempo en términos de Tiempo Productivo (TP), Tiempo Contributivo (TC) y Tiempo No Contributivo (TNC).

Distribución General de Tiempos:

⇒ **Tiempo Productivo (TP):** Con un total de 377 horas, el TP representa la mayor parte del tiempo utilizado por los trabajadores, lo que indica que gran parte de las actividades estaban directamente relacionadas con la producción efectiva. **Tiempo Contributivo (TC):** Las 106 horas registradas en esta categoría reflejan actividades que, aunque no productivas directamente, son necesarias para facilitar o preparar el trabajo productivo, como el transporte y la limpieza. **Tiempo No Contributivo (TNC):** Las 237 horas de TNC, que incluyen actividades como viajes, tiempos ociosos, y descansos, representan una significativa pérdida de tiempo productivo, lo que evidencia ineficiencias en la organización y gestión del trabajo antes de la implementación de LC y LPS.

Análisis por Cargo:

⇒ **Operarios:** Tienen un promedio elevado de TP, pero también muestran altos tiempos de TNC, especialmente en viajes y tiempos ociosos. Esto sugiere una posible sobreasignación de tareas o mala planificación, que resulta en períodos de inactividad.

Oficiales: Aunque su TP es considerable, el TNC sigue siendo notable, lo que indica que incluso los supervisores experimentaban tiempos de inactividad significativos, posiblemente debido a fallas en la coordinación o espera de materiales y equipos.

Ayudantes: A pesar de tener un TP razonable, los ayudantes presentan altos niveles de TNC, especialmente en tareas no productivas como viajes y tiempos ociosos, reflejando la necesidad de mejor supervisión y asignación de tareas.

Implicaciones para el Proyecto:

⇒ La alta proporción de TNC en comparación con el TC y el TP sugiere ineficiencias significativas en la organización y ejecución del trabajo. Los elevados tiempos en viajes y tiempos ociosos indican problemas en la logística y en la asignación de tareas. La implementación de **Lean Construction** y **Last Planner System** es crucial para abordar estas ineficiencias. Estas metodologías ayudarían a reducir el TNC al mejorar la planificación, coordinación y supervisión de las actividades en el sitio, lo que, a su vez, aumentaría el tiempo dedicado al trabajo productivo y contributivo.

En resumen, la **Tabla 7** revela que antes de la adopción de LC y LPS, había una distribución desigual del tiempo en el proyecto, con un alto porcentaje de horas dedicadas a actividades no productivas. La implementación de estas metodologías es esencial para optimizar el uso del tiempo y mejorar la eficiencia general del proyecto.

Tabla 7.

Medición de nivel general de actividad – sin implementación de LC y LPS

						Tiempo Contributorio						Tiempo No Contributorio							
N°	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES	TP	TC	TNP	Total	CH	T	L	I	M	X	V	N	E	R	D	B	Y
1	Operario	Valdez Quispe Marleny	24	6	10	40		3	2	1			4	2			3		1
2	Operario	Ruben Rios Carrion	16	12	12	40	4	2		4		2	4	1			2	1	4
3	Operario	Quispe Estrada Alex	21	10	9	40	4			4		2	5	2			1	1	0
4	Operario	Rios Carrion Jonathan Omar	22	6	12	40		2	2			2	4	3	2		3		
5	Operario	Galves Pizarro Mauro	20	6	14	40		2	2			2	5	2	1	3	3		
6	Operario	Vasques Pacaya Jadier	21	5	14	40		2	1			2	4	3	3		2		2
7	Operario	Izuiza Guerra Segundo Antonio	21	6	13	40		1	2		2	1	4	2	2		3		2
8	Operario	Silva Rivas Florentino	22	6	12	40			2	1	2	1	5	2	5				
9	Operario	Martinez Guerra Jorge	23	6	11	40		2	2	1		1	5	2			3	1	
10	Oficial	Damiano Arango Vilmar	18	5	17	40		4	1				6	2	1	1	5	1	1
11	Oficial	Cristian Estrada Espinoza	16	5	19	40		4	1				9	2		3	5		
12	Oficial	Damiano Arango Vilmar	19	5	16	40		3	2				8	2	3		2	1	
13	Oficial	Cristian Estrada Espinoza	21	5	14	40		5					4	2	1	1	4	1	1
14	Ayudante	Rumualdo Zuñiga Oscco	22	5	13	40		1	1		2	1	6	2	3		2		
15	Ayudante	Arteaga Durand Fredy	24	5	11	40		3	2				5	3	3		0		
16	Ayudante	Maita Condori Juan Luis	24	5	11	40		3	2				6	3	2				
17	Ayudante	Champi Laurente Roly	23	4	13	40		2	2				5	4	3		1		
18	Ayudante	Asencio Carrasco Roycer Y.	20	4	16	40		2	2				3	4	2	1	3	2	1
			377	106	237	720	8	41	26	11	6	14	92	43	31	9	42	8	12

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusión sobre las Primeras Ocho Semanas de Trabajo (Valores Cuantitativos)

Durante las primeras ocho semanas del proyecto de construcción, los análisis cuantitativos muestran que solo el 52% del tiempo total fue dedicado a **Trabajo Productivo (TP)**, mientras que un significativo 48% del tiempo se dividió entre **Tiempo Contributivo (TC)** y **Tiempo No Contributivo (TNC)**. Específicamente, el **Tiempo Contributivo (TC)** representó el 15% del tiempo, con actividades como transporte (39%), limpieza (25%), y mediciones (6%) siendo las más prominentes. Estas actividades, aunque necesarias, no contribuyen directamente a la construcción pero sí apoyan la producción.

Por otro lado, el **Tiempo No Contributivo (TNC)**, que abarcó un alarmante 33% del total, estuvo compuesto principalmente por viajes (39%), tiempos ociosos (18%), y descansos (18%). Esto refleja un significativo desperdicio de recursos, ya que un tercio del tiempo laboral no aportó directamente al avance del proyecto.

Adicionalmente, la tabla de desglose individual de trabajadores muestra que, de las 720 horas totales registradas, solo 377 horas (52%) fueron productivas, mientras que 343 horas (48%) fueron dedicadas a actividades contributivas y no contributivas. En términos de eficiencia, los datos reflejan una gestión subóptima del tiempo y de los recursos humanos, donde casi la mitad del tiempo laboral no fue utilizado de manera productiva.

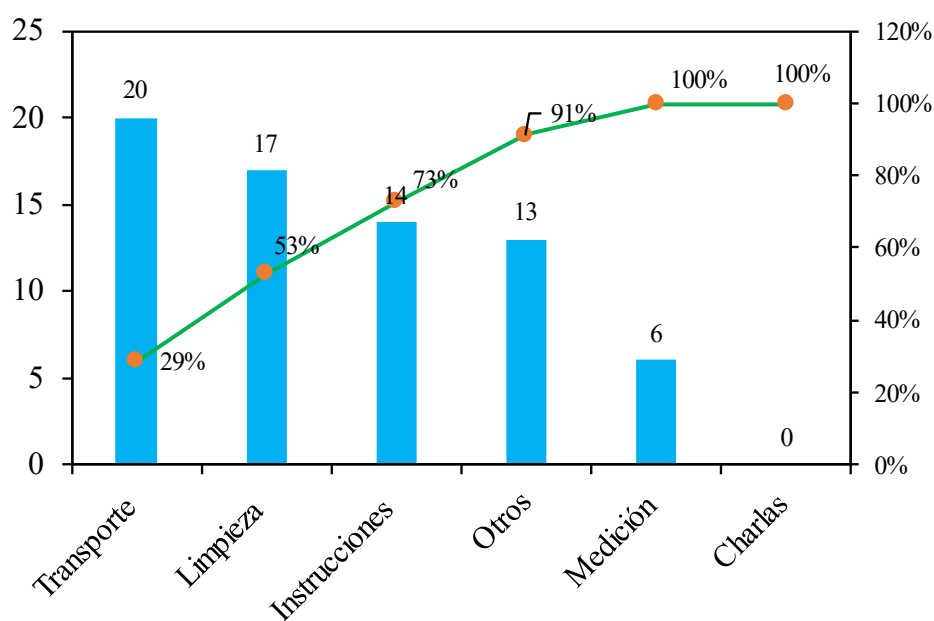
Estos valores cuantitativos subrayan la necesidad crítica de implementar metodologías como **Lean Construction** y **Last Planner System** en la siguiente fase del proyecto, para reducir las pérdidas de tiempo y optimizar la eficiencia general de las operaciones en obra.

La figura 34 y la tabla 8, muestran la distribución del tiempo contributivo tras la implementación de la metodología Lean Construction en el proyecto. Los datos revelan que, de las 106 horas evaluadas, el transporte ocupa el mayor porcentaje del tiempo contributivo con un 29% (20 horas), seguido de la limpieza con un 24% (17 horas). Las instrucciones a los

trabajadores representan un 20% del tiempo (14 horas), mientras que las actividades clasificadas como "otros" constituyen el 19% (13 horas). Las mediciones se sitúan en un 9% (6 horas), y no se registran horas dedicadas a charlas (0%).

Figura 34.

Tiempos Contributivos Con implementación de Lean Construction



Fuente: Elaboración propia

En comparación con el escenario previo a la implementación de Lean Construction, se observa una reducción en el tiempo dedicado al transporte y la limpieza, lo cual sugiere mejoras en la planificación y en la eficiencia operativa. Además, la ausencia de tiempo dedicado a charlas podría indicar una mejora en la comunicación y la transmisión de instrucciones, lo que reduce la necesidad de reuniones formales para estos fines.

Estos resultados sugieren que la implementación de Lean Construction ha optimizado el uso del tiempo contributivo, reduciendo las pérdidas asociadas a actividades de bajo valor agregado, lo cual es coherente con los principios de esta metodología, que busca maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio en los procesos de construcción.

Tabla 8.*Tiempos Contributivos con la implementación de Lean Construction*

Tiempo Contributivo		106	Horas	
	Actividad	F	%	Acumulado
T	Transporte	20	29%	29%
L	Limpieza	17	24%	53%
I	Instrucciones	14	20%	73%
X	Otros	13	19%	91%
M	Medición	6	9%	100%
CH	Charlas	0	0%	100%
		70		

Fuente: Elaboración propia

La figura 35 y la tabla 9 representan los tiempos no contributivos (TNC) después de la implementación de la metodología Lean Construction en el proyecto de construcción. Los datos muestran una distribución más eficiente de los tiempos no contributivos en comparación con los datos anteriores a la implementación de Lean Construction.

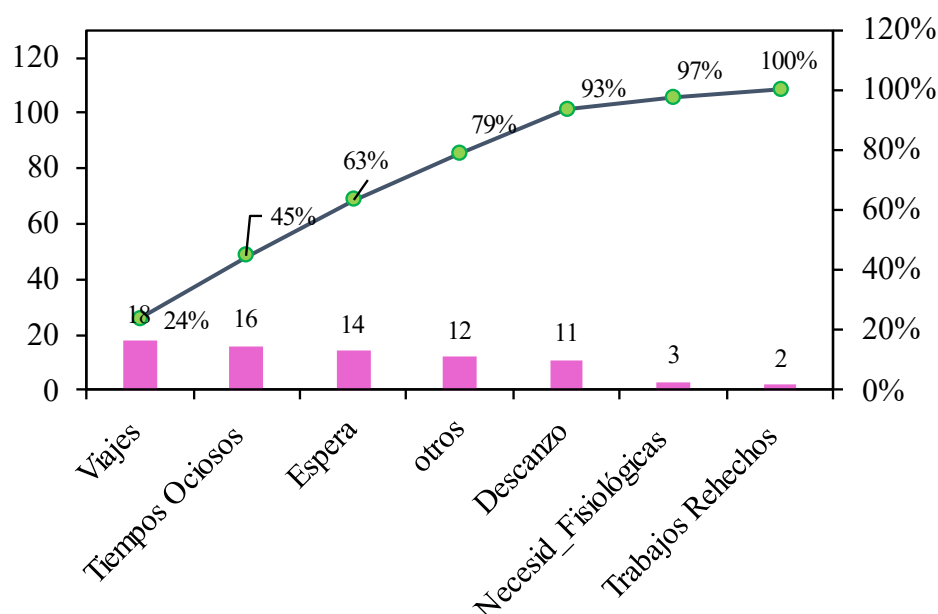
Interpretación de los resultados:

1. **Reducción en los tiempos de "Viajes":** El tiempo destinado a "Viajes" disminuyó notablemente, representando solo el 24% del total del TNC, con un total de 18 incidencias. Esto refleja una mejora en la planificación y logística de la obra, donde se optimizan los desplazamientos y se reducen los tiempos innecesarios, una de las áreas clave que Lean Construction busca mejorar.
2. **Menor proporción de "Tiempos Ociosos" y "Espera":** Ambas categorías, que suelen representar ineficiencias en la asignación de tareas y la disponibilidad de recursos, también mostraron una reducción significativa, representando el 21% y 18% del TNC, respectivamente. Esto sugiere una mejora en la sincronización de las actividades y una mejor comunicación y coordinación entre los equipos de trabajo.

3. **Otros Tiempos No Contributivos:** Las actividades clasificadas como "Otros", "Descanso", "Necesidades Fisiológicas" y "Trabajos Rehechos" también muestran una distribución más contenida y controlada. "Trabajos Rehechos", que generalmente indican errores o falta de precisión en la primera ejecución, se redujo a solo el 3% del TNC, lo que evidencia un aumento en la calidad del trabajo y en la precisión durante la ejecución de tareas.

Figura 35.

Tiempos no Contributivos Con implementación de Lean Construction



Fuente: Elaboración propia

En general, la implementación de Lean Construction logró una distribución más eficiente de los tiempos no contributivos, disminuyendo las pérdidas y mejorando la productividad general del proyecto. Esto se refleja en una menor cantidad de tiempo destinado a actividades que no agregan valor directo al proceso de construcción, permitiendo un enfoque más centrado en tareas productivas y contributivas.

Tabla 9.*Tiempos no Contributivos con la implementación de Lean Construction*

Tiempo no Contributivo		237	Horas	
Actividad	F		%	Acumulado
V Viajes		18	24%	24%
N Tiempos Ociosos		16	21%	45%
E Espera		14	18%	63%
Y otros		12	16%	79%
D Descanzo		11	14%	93%
B Necesid_Fisiológicas		3	4%	97%
R Trabajos Rehechos		2	3%	100%
		76		

Fuente: Elaboración propia

La **Figura 36** presenta la distribución del trabajo en términos de Tiempo Productivo (TP), Tiempo Contributivo (TC), y Tiempo No Contributivo (TNC) tras la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) durante las semanas 9 a 20 del proyecto. Esta distribución refleja un seguimiento minucioso y detallado de los procesos y tareas en la obra, evidenciando los cambios y mejoras en la eficiencia operativa.

Análisis y Descripción:

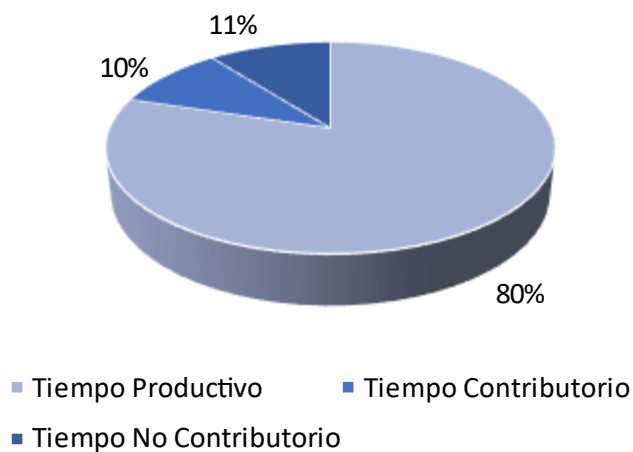
- ⇒ **Aumento del Tiempo Productivo (TP):** El Tiempo Productivo (TP) representa el 80% del total del tiempo, lo que indica una significativa mejora en la eficiencia operativa. Este porcentaje elevado sugiere que la mayoría del tiempo de trabajo se utilizó directamente en actividades que agregan valor al proyecto, como la ejecución directa de las tareas planificadas y la reducción de ineficiencias. La implementación de LC y LPS parece haber contribuido notablemente a enfocar los esfuerzos en actividades clave y a eliminar o minimizar las distracciones y retrasos.
- ⇒ **Reducción del Tiempo Contributivo (TC):** El Tiempo Contributivo (TC), que incluye actividades como transporte, limpieza, y mediciones, representa el 10% del tiempo

total. Aunque estas actividades son necesarias para la ejecución del proyecto, su reducción respecto al tiempo total es indicativa de una mayor eficiencia. Esto sugiere que las tareas preparatorias y de soporte se han optimizado para permitir que el máximo posible del tiempo de trabajo sea directamente productivo.

⇒ **Mínimo Tiempo No Contributivo (TNC):** El Tiempo No Contributivo (TNC) ha sido reducido al 11% del tiempo total, lo cual es una mejora significativa en comparación con los valores observados antes de la implementación de LC y LPS. Este bajo porcentaje refleja la eficacia de las estrategias implementadas para eliminar actividades que no agregan valor, como tiempos de espera, tiempos ociosos, y viajes innecesarios. La notable reducción de TNC implica que las pérdidas de tiempo en actividades no productivas fueron significativamente controladas.

Figura 36.

Distribución de trabajo TP, TC y TNC antes de la implementación de LC y LPS



Fuente: Elaboración propia

La figura 36, refleja un impacto positivo de la implementación de Lean Construction y Last Planner System en la distribución del tiempo de trabajo en el proyecto. La mayor parte del tiempo se dedicó a actividades productivas, mientras que los tiempos contributivos y no contributivos se redujeron considerablemente. Esto indica que la metodología implementada ha sido efectiva en mejorar la eficiencia y productividad del proyecto, minimizando las pérdidas de tiempo y recursos.

La **Tabla 10** muestra la distribución del trabajo en términos de Tiempo Productivo (TP), Tiempo Contributivo (TC) y Tiempo No Contributivo (TNC) después de la implementación de las metodologías Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) en el proyecto. Este análisis refleja los cambios en la productividad y eficiencia de la mano de obra tras la implementación de estas metodologías.

- **Tiempo Productivo (TP):** Después de la implementación de LC y LPS, el Tiempo Productivo (TP) acumulado para los 18 trabajadores asciende a 575 horas. Comparado con los resultados anteriores, este valor muestra un incremento significativo, reflejando que la mayor parte del tiempo de trabajo se ha concentrado en actividades que agregan valor directo al proyecto. Este aumento en el TP es indicativo de una mejora en la eficiencia operativa y en la correcta asignación de recursos y tareas.
- **Tiempo Contributivo (TC):** El Tiempo Contributivo (TC) totalizó 70 horas, representando una fracción del tiempo total. Aunque las actividades contributivas, como transportes, limpieza, y mediciones, siguen siendo necesarias, la optimización de estos procesos bajo LC y LPS ha permitido mantener este tipo de trabajo en un nivel bajo, lo que es positivo para maximizar el TP. La reducción del TC en comparación con etapas previas indica una planificación más eficiente y una mejor coordinación en la obra.

- **Tiempo No Contributivo (TNC):** El Tiempo No Contributivo (TNC) después de la implementación es de 76 horas, lo que representa una disminución importante en comparación con los valores anteriores a la implementación de las metodologías. Este dato refleja una reducción significativa en las pérdidas de tiempo asociadas con actividades como tiempos ociosos, viajes innecesarios y esperas. La baja proporción de TNC es un indicador claro de la efectividad de las metodologías LC y LPS en minimizar ineficiencias y en mantener a los trabajadores enfocados en actividades productivas.

La implementación de Lean Construction y Last Planner System ha resultado en una mejora considerable en la distribución del tiempo de trabajo, aumentando el Tiempo Productivo y reduciendo significativamente los Tiempos Contributivo y No Contributivo. Esto refleja una optimización en la gestión de recursos y en la planificación de actividades, que ha permitido maximizar la eficiencia en la ejecución del proyecto.

Tabla 10.*Medición de nivel general de actividad – con implementación de LC y LPS*

						Tiempo Contributorio						Tiempo No Contributorio							
N°	CARGO	APELLIDOS Y NOMBRES	TP	TC	TNP	Total	CH	T	L	I	M	X	V	N	E	R	D	B	Y
1	Operario	Valdez Quispe Marleny	31	4	5	40		1	1		1	1	1		2		1	1	
2	Operario	Ruben Rios Carrion	33	2	5	40	0	1				1	0	1	1	0	1		2
3	Operario	Quispe Estrada Alex	32	2	7	41	0	1				1	1	2			1	1	2
4	Operario	Rios Carrion Jonathan Omar	28	6	6	40		2	1	2		1	2	2	1				1
5	Operario	Galves Pizarro Mauro	30	5	5	40		1	0	1	2	1	0	1	2	1			1
6	Operario	Vasques Pacaya Jadier	32	4	4	40		1	1	1		1	1	1					2
7	Operario	Izuiza Guerra Segundo Antonio	32	4	4	40		2	0	1		1	2	1					1
8	Operario	Silva Rivas Florentino	33	3	4	40		0	1	1		1	0	1			1		2
9	Operario	Martinez Guerra Jorge	32	3	5	40		1	1	1			1	2	1		1		
10	Oficial	Damiano Arango Vilmar	30	5	5	40		1	0	2	2		2	1			1	1	
11	Oficial	Cristian Estrada Espinoza	32	4	4	40		2	2				1	1			2		
12	Oficial	Damiano Arango Vilmar	32	5	3	40		1	0	2		2	0	1	1		1		
13	Oficial	Cristian Estrada Espinoza	32	3	5	40		1	1			1	1		1	1	2		
14	Ayudante	Rumualdo Zuñiga Oscoco	32	4	4	40		0	1	2	1		2	1	1				
15	Ayudante	Arteaga Durand Fredy	34	3	3	40		1	2				0	1	2				
16	Ayudante	Maita Condori Juan Luis	34	3	3	40		1	2				1		2				
17	Ayudante	Champi Laurente Roly	32	6	2	40		1	2	1		2	2	0		0			
18	Ayudante	Asencio Carrasco Roycer Y.	34	4	2	40		2	2				1						1
			575	70	76	721	0	20	17	14	6	13	18	16	14	2	11	3	12

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.1. Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS

La **Figura 37** presenta un análisis comparativo del **Tiempo Productivo (TP)**, **Tiempo Contributivo (TC)** y **Tiempo No Contributivo (TNC)** a lo largo de las 20 semanas del proyecto. La línea roja vertical en el gráfico divide claramente los dos periodos de análisis: las primeras ocho semanas antes de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) y las semanas restantes (9 a 20) después de la implementación de estas metodologías.

1. Antes de la Implementación de LC y LPS (Semanas 1 a 8):

- ✓ En este período, se observa una notable variabilidad en la proporción de **Tiempo Productivo (TP)**, que oscila entre un 46% y un 56%. Esto refleja una ejecución ineficiente y una falta de optimización en los procesos, donde un porcentaje considerable del tiempo se destina a **Tiempo Contributivo (TC)** y **Tiempo No Contributivo (TNC)**.
- ✓ El **Tiempo Contributivo (TC)**, que corresponde a actividades necesarias, pero no directamente productivas, varía entre un 14% y un 27%. Este nivel indica que una parte significativa de los recursos y tiempo de los trabajadores se utiliza en actividades que podrían mejorarse con una mejor planificación.
- ✓ El **Tiempo No Contributivo (TNC)** es particularmente alto en este periodo, con valores que alcanzan hasta el 39%, reflejando pérdidas de tiempo en actividades innecesarias como tiempos ociosos, esperas y otros retrasos operativos. La falta de coordinación y de una planificación efectiva contribuyó a estos altos niveles de TNC.

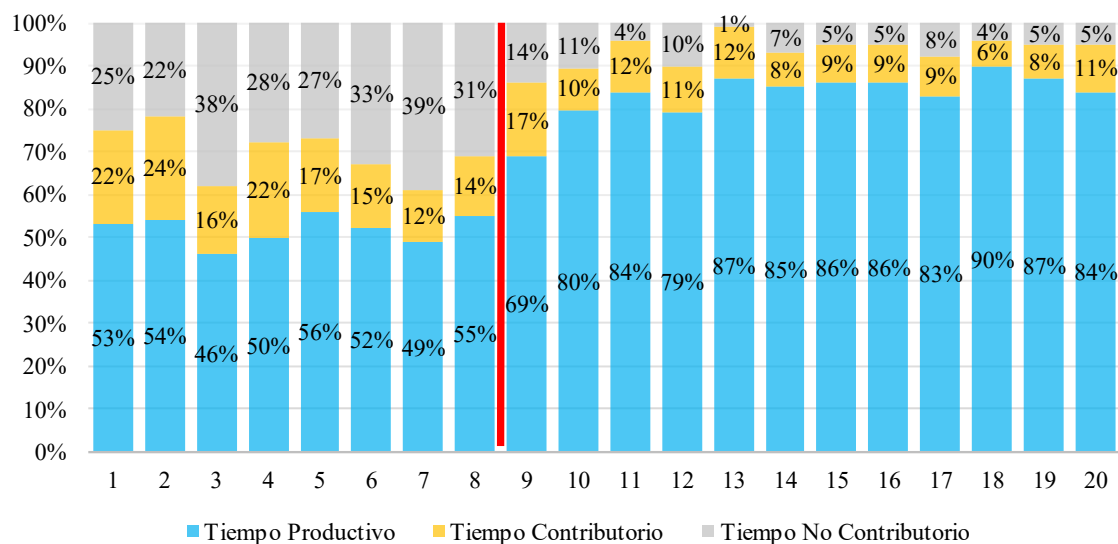
2. Después de la Implementación de LC y LPS (Semanas 9 a 20):

- ✓ A partir de la semana 9, se observa un cambio significativo en la distribución del tiempo, con un aumento considerable del **Tiempo Productivo (TP)**, que alcanza hasta un 90% en la semana 18. Este incremento refleja la efectividad de las metodologías LC y LPS en optimizar el uso del tiempo y en enfocar los esfuerzos del equipo en actividades que realmente agregan valor al proyecto.
- ✓ El **Tiempo Contributivo (TC)** disminuye drásticamente en este periodo, con valores reducidos a entre un 1% y un 12%. La baja proporción de TC después de la implementación de LC y LPS demuestra que las actividades contributivas han sido optimizadas y que se han reducido las ineficiencias en los procesos de soporte a la producción.
- ✓ El **Tiempo No Contributivo (TNC)** también experimenta una disminución significativa, con la mayoría de las semanas posteriores a la implementación mostrando valores entre un 4% y un 12%. La reducción del TNC indica que se han eliminado o minimizado las actividades que no contribuyen al progreso del proyecto, tales como tiempos ociosos y esperas innecesarias, lo que ha permitido mejorar la eficiencia general de la obra.

La comparación entre las dos fases del proyecto evidencia que la implementación de las metodologías Lean Construction y Last Planner System tuvo un impacto positivo sustancial en la ejecución del proyecto. El **Tiempo Productivo (TP)** aumentó significativamente, mientras que tanto el **Tiempo Contributivo (TC)** como el **Tiempo No Contributivo (TNC)** disminuyeron, reflejando una mejora en la eficiencia operativa y una optimización del uso del tiempo de trabajo. Esta mejora es un claro indicador de la efectividad de LC y LPS en la gestión y ejecución de proyectos de construcción, resaltando la importancia de una planificación rigurosa y la coordinación constante entre el personal para alcanzar los objetivos del proyecto.

Figura 37.

Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 38** muestra la progresión del **Tiempo Productivo (TP)**, **Tiempo Contributivo (TC)** y **Tiempo No Contributivo (TNC)** a lo largo de las 20 semanas del proyecto. Este gráfico permite observar cómo han evolucionado estos tiempos desde el inicio hasta el final del periodo de implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS).

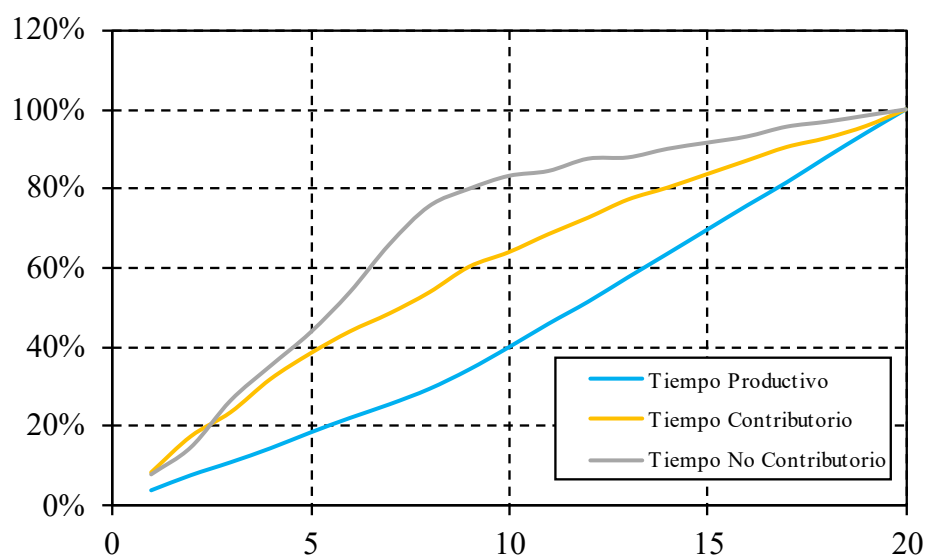
- ✓ **Tiempo Productivo (TP):** La línea azul representa el **Tiempo Productivo (TP)**, que muestra un crecimiento constante a lo largo de las 20 semanas. Sin embargo, se observa que durante las primeras semanas (1 a 8), la tasa de crecimiento del TP es relativamente baja. Esto indica que al inicio del proyecto, una menor proporción del tiempo total estaba dedicada a actividades productivas, reflejando inefficiencias en el proceso. A partir de la semana 9, coincidiendo con la implementación de LC y LPS, la pendiente de la curva de TP se incrementa notablemente, lo que indica una mejora significativa en la eficiencia de

las operaciones. Al final del periodo de 20 semanas, el TP alcanza niveles cercanos al 100%, lo que refleja un alto grado de optimización en el uso del tiempo de trabajo.

- ✓ **Tiempo Contributivo (TC):** La línea amarilla indica la progresión del **Tiempo Contributivo (TC)**, el cual también crece en las primeras semanas, aunque a un ritmo más rápido que el TP. Esto sugiere que en las primeras etapas del proyecto, un porcentaje significativo del tiempo se dedicaba a actividades que, aunque necesarias, no eran directamente productivas. A partir de la semana 9, el crecimiento del TC se estabiliza y comienza a disminuir en términos relativos, lo que refleja una optimización en estas actividades gracias a la implementación de las metodologías LC y LPS. Esta disminución sugiere que, con la mejora en la planificación y la coordinación, se ha reducido la necesidad de tiempo contributivo, liberando más tiempo para actividades productivas.

Figura 38.

Progresión de las mejoras en la implementación de la LC y LPS



Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Tiempo No Contributivo (TNC):** La línea gris, que representa el **Tiempo No Contributivo (TNC)**, muestra un rápido crecimiento durante las primeras semanas del proyecto, alcanzando un pico alrededor de la semana 8. Este crecimiento inicial refleja las pérdidas de tiempo debidas a ineficiencias como tiempos ociosos, esperas, y otros factores no productivos. A partir de la semana 9, la línea de TNC se aplana y eventualmente comienza a disminuir, lo que indica que la implementación de LC y LPS ha sido efectiva en reducir las pérdidas de tiempo. Al final del periodo de 20 semanas, la curva de TNC se nivela y desciende, acercándose a cero, lo que significa que las actividades no contributivas han sido prácticamente eliminadas.

La **Figura 38** ilustra claramente el impacto positivo de las metodologías Lean Construction y Last Planner System en la gestión del tiempo en el proyecto. Durante las primeras ocho semanas, antes de la implementación de estas metodologías, el **Tiempo No Contributivo (TNC)** creció rápidamente, y el **Tiempo Productivo (TP)** creció lentamente. Después de la implementación, se observa una inversión en esta tendencia, con un fuerte aumento en el **Tiempo Productivo (TP)** y una reducción significativa en el **Tiempo No Contributivo (TNC)**. Estos resultados demuestran que la implementación de LC y LPS ha llevado a una mejora considerable en la eficiencia operativa y en la optimización del uso del tiempo en el proyecto.

4.1.3. Optimización de costos por tiempos de actividad

La **Figura 39** presenta el promedio de los tiempos **Productivo, Contributivo, y No Contributivo** a lo largo de las 20 semanas del proyecto, desglosado en tres períodos: las primeras 8 semanas, las semanas de la 9 a la 20, y el promedio general para las 20 semanas. Este gráfico permite una comparación directa del impacto de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) sobre la eficiencia operativa en la obra.

- ⇒ **Tiempo Productivo:** Durante las **primeras 8 semanas** (representadas en azul), el **Tiempo Productivo** tuvo un promedio del 52%, lo que indica que poco más de la mitad del tiempo total estaba dedicado a actividades productivas. Esto refleja ineficiencias en la gestión del trabajo, ya que casi la mitad del tiempo se dedicaba a tareas no directamente productivas. En contraste, después de la **implementación de LC y LPS** (semanas 9 a la 20, representadas en naranja), el **Tiempo Productivo** se incrementó significativamente hasta un 83%. Este aumento del 31% demuestra una mejora considerable en la eficiencia operativa, ya que una mayor proporción del tiempo total se dedicó a actividades directamente productivas. El promedio general para las **20 semanas** es del 71% (representado en gris), que refleja la tendencia general hacia una mayor productividad tras la implementación de las nuevas metodologías.
- ⇒ **Tiempo Contributivo:** Durante las **primeras 8 semanas**, el **Tiempo Contributivo** promedió un 18%, lo que sugiere que una parte significativa del tiempo de trabajo se dedicaba a actividades que, aunque necesarias, no eran productivas de manera directa. Después de la **implementación de LC y LPS**, este tiempo se redujo al 10%. La disminución del 8% en el **Tiempo Contributivo** indica que las actividades de apoyo y preparación se gestionaron de manera más eficiente, liberando más tiempo para el trabajo productivo. En promedio, durante las **20 semanas**, el **Tiempo Contributivo** se situó en un 13%, lo que refleja la optimización de estas tareas a lo largo del proyecto.
- ⇒ **Tiempo No Contributivo:** En las **primeras 8 semanas**, el **Tiempo No Contributivo** fue alarmantemente alto, con un promedio del 30%. Este tiempo perdido se asocia con ineficiencias graves, como esperas, tiempos ociosos, y trabajos rehechos. Después de la **implementación de LC y LPS**, este tiempo se redujo drásticamente al 7%, lo que representa una disminución significativa del 23%. Este cambio demuestra que las metodologías implementadas fueron efectivas para reducir las ineficiencias y eliminar

las actividades que no aportaban valor al proyecto. El promedio general del **Tiempo No Contributivo** para las **20 semanas** es del 16%, lo que sigue siendo elevado, pero muestra una clara tendencia a la baja después de la implementación de las nuevas metodologías.

Tabla 11.

Media de Tiempos – con y sin implementación de LC y LPS

	Tiempos	Productivo	Contributorio	No Contributorio	ToTal
Semanas	1	53%	22%	25%	100%
	2	54%	24%	22%	100%
	3	46%	16%	38%	100%
	4	50%	22%	28%	100%
	5	56%	17%	27%	100%
	6	52%	15%	33%	100%
	7	49%	12%	39%	100%
	8	55%	14%	31%	100%
	Media	52%	18%	30%	100%
	9	69%	17%	14%	100%
	10	80%	10%	11%	100%
	11	84%	12%	4%	100%
	12	79%	11%	10%	100%
	13	87%	12%	1%	100%
	14	85%	8%	7%	100%
	15	86%	9%	5%	100%
	16	86%	9%	5%	100%
	17	83%	9%	8%	100%
	18	90%	6%	4%	100%
	19	87%	8%	5%	100%
	20	84%	11%	5%	100%
	Media	83%	10%	7%	100%
	Media Total	71%	13%	10%	100%

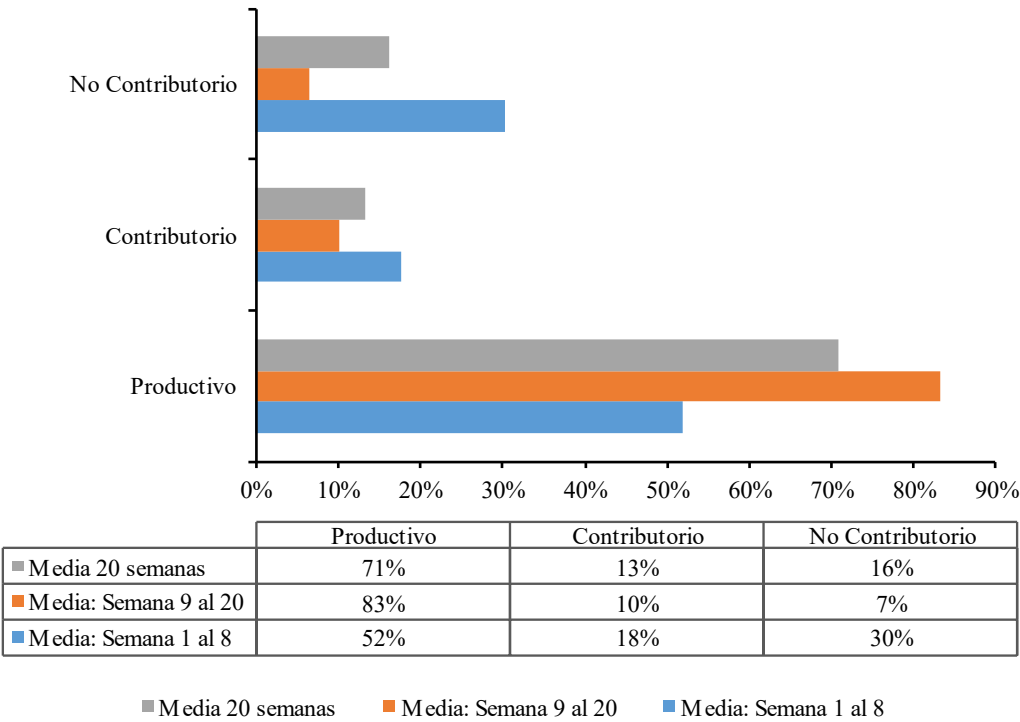
Fuente: Elaboración propia

La **Figura 39** y la **tabla 11**, evidencia de manera contundente los beneficios de la implementación de Lean Construction y Last Planner System en la obra. Antes de la implementación, una cantidad considerable del tiempo se perdía en actividades no productivas y no contributivas, lo que limitaba la eficiencia del proyecto. Sin embargo, después de la

implementación, se observa una mejora significativa, con un aumento notable del **Tiempo Productivo** y una reducción marcada en los **Tiempos Contributivo** y **No Contributivo**. Esto demuestra que las metodologías adoptadas han optimizado los procesos de trabajo, reduciendo las ineficiencias y mejorando la productividad general del proyecto.

Figura 39.

Promedio de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos



Fuente: elaboración Propia

En la **Figura 40**, se presenta un **Diagrama de Pareto** que ilustra los costos directos asociados a las principales partidas del proyecto de construcción. Este análisis es esencial para identificar las áreas de mayor impacto en el presupuesto y guiar los esfuerzos de optimización y control de costos.

⇒ **Distribución de Costos Directos:** Las partidas de **Muros, Acabados, y Vigas** representan los mayores costos directos dentro del proyecto. En conjunto, estas partidas

constituyen la mayor proporción del gasto total, lo que sugiere que cualquier mejora en la eficiencia de estas actividades puede generar un ahorro significativo. Otras partidas, como **Clorinador 1**, **Losa de Techo**, y **Movimiento de Tierras**, aunque no tan prominentes como las principales, aún contribuyen considerablemente al costo total del proyecto.

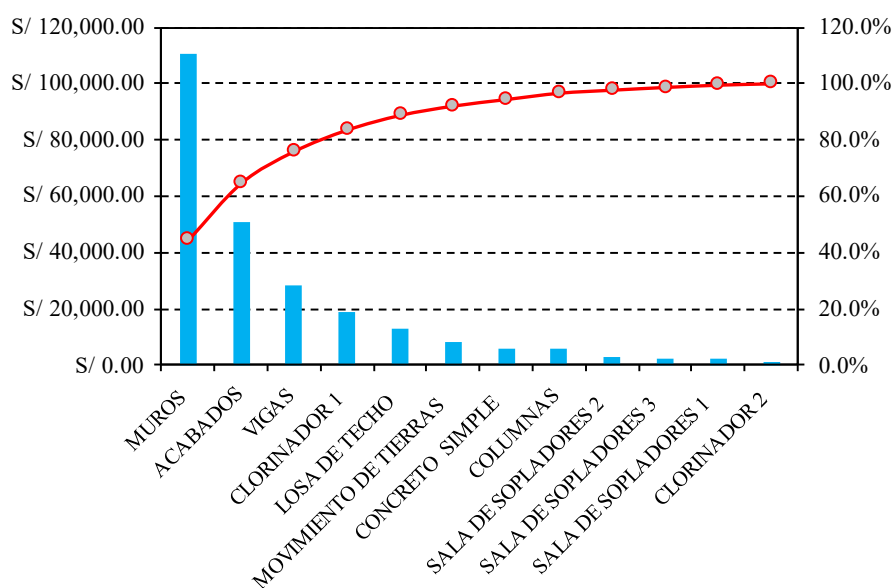
- ⇒ **Impacto de Lean Construction y Last Planner System:** El análisis de las **Figuras 36, 37, 38 y 39** revela que la implementación de Lean Construction y Last Planner System durante las semanas 9 a 20 resultó en una **optimización aproximada del 13% del costo total directo**. Esta mejora es considerable cuando se contrasta con las primeras 8 semanas, donde la ejecución convencional mostró ineficiencias con pérdidas de aproximadamente un 14% del costo total. La reducción del **Tiempo No Contributivo** y el aumento del **Tiempo Productivo** fueron factores clave para esta optimización de costos. Esto fue posible gracias a la implementación rigurosa de la metodología, que facilitó una mejor programación y ejecución de las actividades, enfocando los esfuerzos en cumplir objetivos diarios y semanales con mayor precisión.
- ⇒ **Conclusión General:** El Diagrama de Pareto subraya la importancia de enfocar los esfuerzos en las partidas de mayor costo, como **Muros**, **Acabados**, y **Vigas**, para maximizar la eficiencia y reducir costos. La implementación de Lean Construction y Last Planner System demostró ser una estrategia efectiva, logrando una **optimización del 13% en los costos directos del proyecto**. Esta optimización no solo se traduce en una reducción significativa del presupuesto total, sino también en un uso más eficiente de los recursos y un mejor control de las actividades críticas del proyecto.

Una ejecución bien planificada y gestionada bajo las metodologías Lean Construction y Last Planner System permite mejorar significativamente la eficiencia de costos, destacando

la importancia de estas herramientas en la gestión de proyectos de construcción de gran envergadura.

Figura 40.

Diagrama de PARETO de los costos directos de las partidas de la obra



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Porcentaje del Plan Completado PPC

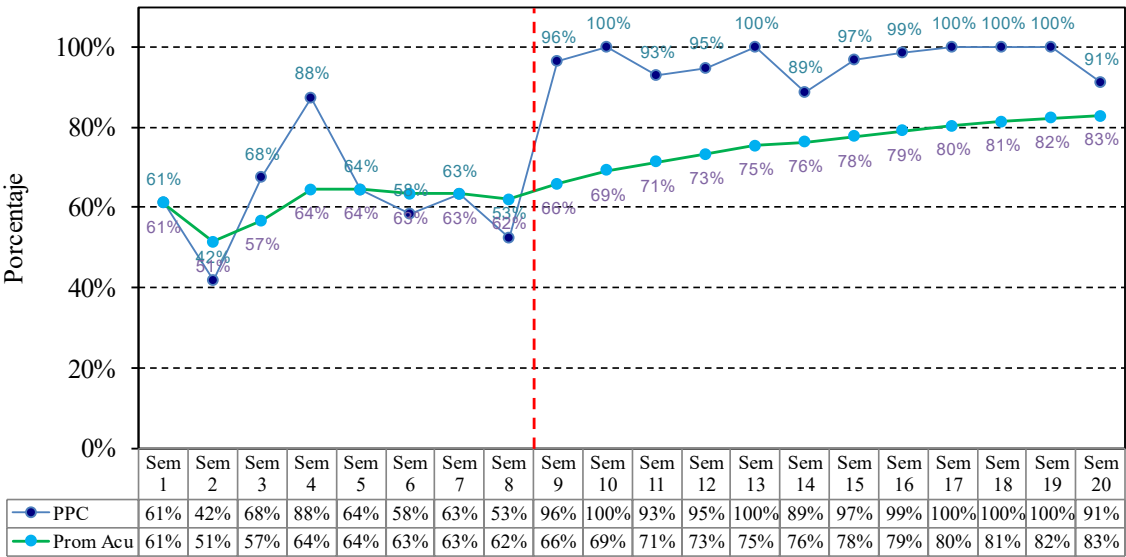
Las figuras 41 y 42, junto con la tabla 12, muestran el análisis del Porcentaje del Plan Completado (PPC) a lo largo de las semanas en el proyecto antes y después de la implementación de las metodologías Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS).

Antes de la implementación (semanas 1 a 8): El PPC mostró fluctuaciones significativas, con valores que oscilaron entre un mínimo de 42% (semana 2) y un máximo de 88% (semana 4). La variabilidad en el PPC durante estas semanas refleja la falta de consistencia y control en la planificación y ejecución de las tareas, lo cual es típico en un entorno donde no se utilizan metodologías estructuradas como LC y LPS. Además, el promedio acumulado (Prom Acu) hasta la semana 8 fue bajo, alcanzando solo el 63%. Este promedio indica que las tareas no se

completaban de manera eficiente, probablemente debido a la falta de coordinación, problemas de comunicación y sobrecarga de trabajo en algunas fases del proyecto.

Figura 41.

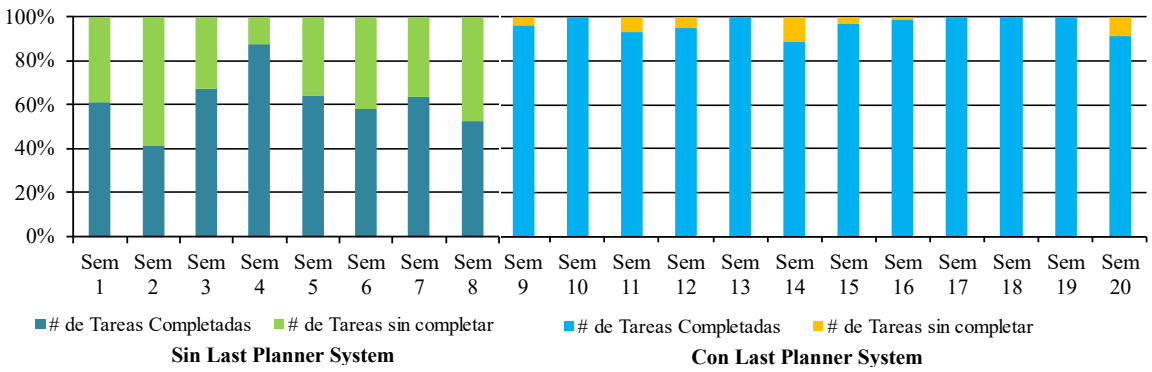
Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 42.

Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas



Fuente: Elaboración propia

Después de la implementación (semanas 9 a 20): A partir de la semana 9, donde se implementa LC y LPS, se observa un cambio drástico en el PPC. Los valores del PPC se estabilizan y aumentan considerablemente, alcanzando el 100% en varias semanas (semanas 10, 13, 14, 16, 17, 18 y 19). Este cambio positivo demuestra la efectividad de las metodologías implementadas para mejorar la planificación y ejecución de las tareas. El Prom Acu también refleja esta mejora continua, incrementándose de manera constante desde el 66% en la semana 9 hasta el 83% en la semana 20.

La implementación de LC y LPS ha sido fundamental para mejorar significativamente la eficiencia en la ejecución del proyecto. Antes de la implementación, el proyecto sufría de baja consistencia y numerosos retrasos, mientras que después de la implementación, no solo se alcanzó una mayor tasa de cumplimiento de tareas, sino que también se logró una ejecución más predecible y controlada. Esto resalta la importancia de utilizar metodologías avanzadas de gestión de proyectos para asegurar el éxito y la eficiencia en la ejecución de obras complejas.

Tabla 12.

Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas

SEMANAS	# de Tareas Programadas	# de Tareas Completadas	PPC	Prom Acu
Sem 1	18	11	61%	61%
Sem 2	24	10	42%	51%
Sem 3	37	25	68%	57%
Sem 4	40	35	88%	64%
Sem 5	28	18	64%	64%
Sem 6	48	28	58%	63%
Sem 7	41	26	63%	63%
Sem 8	40	21	53%	62%
Sem 9	28	27	96%	66%
Sem 10	43	43	100%	69%
Sem 11	57	53	93%	71%
Sem 12	78	74	95%	73%
Sem 13	78	78	100%	75%
Sem 14	72	64	89%	76%

Sem 15	91	88	97%	78%
Sem 16	72	71	99%	79%
Sem 17	61	61	100%	80%
Sem 18	39	39	100%	81%
Sem 19	51	51	100%	82%
Sem 20	45	41	96%	83%

Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 43 y 44 muestran el análisis de las causas de incumplimiento identificadas en la obra antes y después de la implementación de Lean Construction y el Last Planner System. Estas figuras proporcionan una visión detallada de cómo estas metodologías impactaron en la reducción de las causas de incumplimiento en la obra. La figura 43, se observa una marcada disminución en la cantidad total de causas de incumplimiento entre las semanas 1 a 8 (antes de la implementación) y las semanas 9 a 20 (después de la implementación). Los resultados indican que la programación ineficaz fue la principal causa de incumplimiento antes de la implementación de Lean Construction, con 125 incidencias, lo que demuestra una planificación deficiente. Sin embargo, después de la implementación, este número se redujo drásticamente a solo 8 incidencias, evidenciando una mejora significativa en la gestión de la programación.

Tabla 13. *Tipología de causas de incumplimiento identificadas para el Porcentaje del Plan Completado PPC por semanas*

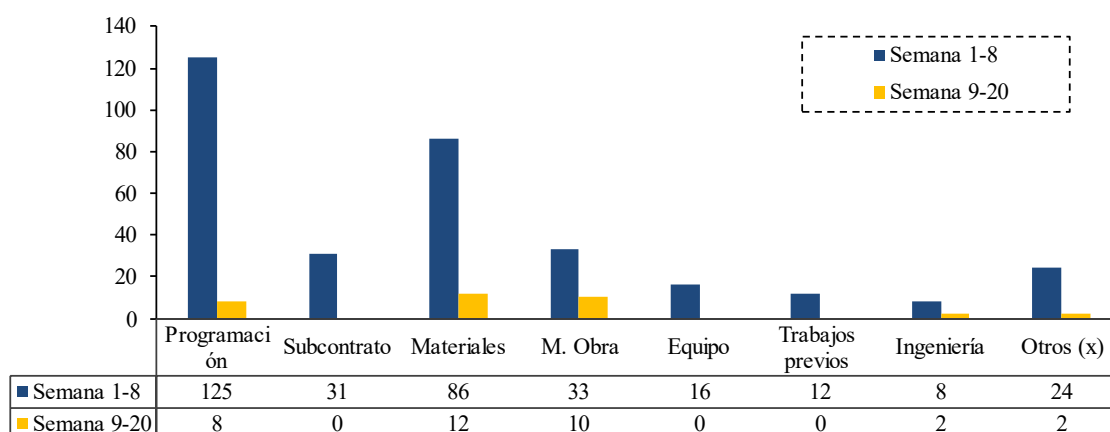
TIPOLOGÍA DE CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO		
NOTA ACLARATORIA		
Las actividades se incumplen por factores no previstos al momento de realizar el PLAN SEMANAL. Esto obedece a que una vez que las actividades son programadas en la semana, se sobreentiende que las mismas no tienen restricciones.		
CÓDIGO	CAUSA BASE	DESCRIPCIÓN
PROG	PROGRAMACIÓN	Retrasos o fallos en la planificación inicial que no consideraron todos los factores o dependencias, resultando en la imposibilidad de cumplir el cronograma.
LMAT	LOGÍSTICA DE MATERIALES	Falta o retraso en la entrega de materiales críticos para la obra, que impide la continuidad del trabajo planificado en el cronograma semanal.
OF	INCUMPLIMIENTO DE OTRO FRENTE	Dependencia de la finalización de tareas de otro equipo o frente de trabajo, el cual no cumplió con su parte en el tiempo previsto.
CLI	CLIENTE - SUPERVISIÓN	Cambios o nuevas demandas del cliente o supervisión que afectan las actividades ya planificadas, generando necesidad de ajustes y retrasos.
EXT	EXTERNO	Factores fuera del control de la organización, como condiciones climáticas adversas o regulaciones inesperadas, que afectan la ejecución de las tareas.
DIS	DISEÑO	Problemas o errores en los planos o especificaciones que no fueron detectados hasta el momento de ejecución, requiriendo modificaciones y causando retrasos.
MEQ	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	Fallos o averías en los equipos de construcción que necesitan reparación o mantenimiento, interrumpiendo las actividades programadas.
SC	SUBCONTRATOS	Fallos o retrasos por parte de subcontratistas, que no entregan el trabajo a tiempo o con la calidad requerida, afectando el cronograma del proyecto.
LEQ	LOGÍSTICA DE EQUIPOS	Retrasos en la disponibilidad de equipos o maquinaria necesaria para la ejecución de tareas específicas dentro del plan semanal.
LPER	LOGÍSTICA DE PERSONAL	Falta de disponibilidad o asignación inadecuada de personal en el sitio, lo que impide cumplir con las tareas planificadas.
PERM	PERMISOS	Retrasos en la obtención de permisos o aprobaciones necesarias para continuar con las actividades planificadas.
ERR	ERRORES DE EJECUCIÓN	Errores cometidos durante la ejecución de tareas que requieren retrabajo o ajustes, generando retrasos en el cronograma.
QAQC	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD	Actividades adicionales de control de calidad que no se planificaron inicialmente, resultando en retrasos para asegurar la conformidad con los estándares.

Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, la mala gestión de materiales también muestra una disminución notable, pasando de 86 incidencias en las primeras 8 semanas a solo 12 en las siguientes. Esto sugiere que la implementación de Lean Construction mejoró significativamente la logística y el flujo de materiales en la obra. Además, se eliminó por completo la necesidad de subcontratación, que anteriormente representaba 31 incidencias.

Figura 43.

Causas de incumplimiento identificadas en la obra



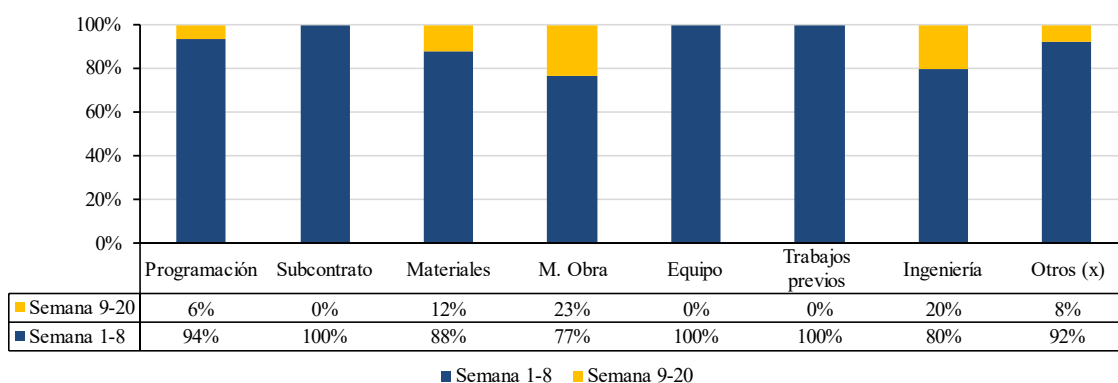
Fuente: Elaboración propia

Esta figura 44, muestra el porcentaje de cada causa de incumplimiento respecto al total de incidencias en cada periodo. Antes de la implementación, la programación representaba aproximadamente el 40% del total de causas de incumplimiento, seguida por la gestión de materiales con un 27%. Estos porcentajes disminuyeron significativamente después de la implementación, con la programación representando solo un 20% y la gestión de materiales un 16%. La comparación entre los periodos antes y después de la implementación demuestra que las causas de incumplimiento fueron considerablemente mitigadas, destacando que la programación y la gestión de materiales, que eran los principales problemas, fueron abordados con éxito. Esto es consistente con la aplicación de Lean Construction y el Last Planner System, que se centran en mejorar la planificación y la gestión de recursos, resultando en un aumento

de la eficiencia y una reducción de los factores que contribuyen a los incumplimientos en la obra. Asimismo, las figuras 43 y 44 revelan que la implementación de Lean Construction y el Last Planner System tuvo un impacto positivo en la reducción de las causas de incumplimiento, mejorando la eficiencia operativa en la obra.

Figura 44.

Causas de incumplimiento identificadas en la obra %



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Análisis cualitativo de percepción respecto a la implementación de LC y LPS

La figura 45, muestra un gráfico de barras que representa la media de las respuestas para las 30 preguntas de las encuestas distribuidas en dos etapas. Las preguntas P1 a P15 corresponden a la experiencia del personal antes de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS), mientras que las preguntas P16 a P30 reflejan las percepciones después de la implementación de estas metodologías.

⇒ **Preguntas P1 a P15 (Antes de LC y LPS):** Las barras correspondientes a las preguntas P1 a P15 muestran una variabilidad considerable en las respuestas, con medias que varían entre aproximadamente 1.5 y 4.5. Esto indica que, antes de la implementación de LC y LPS, había una dispersión significativa en la percepción del personal sobre los aspectos de planificación, organización, dirección y control. Las respuestas más altas

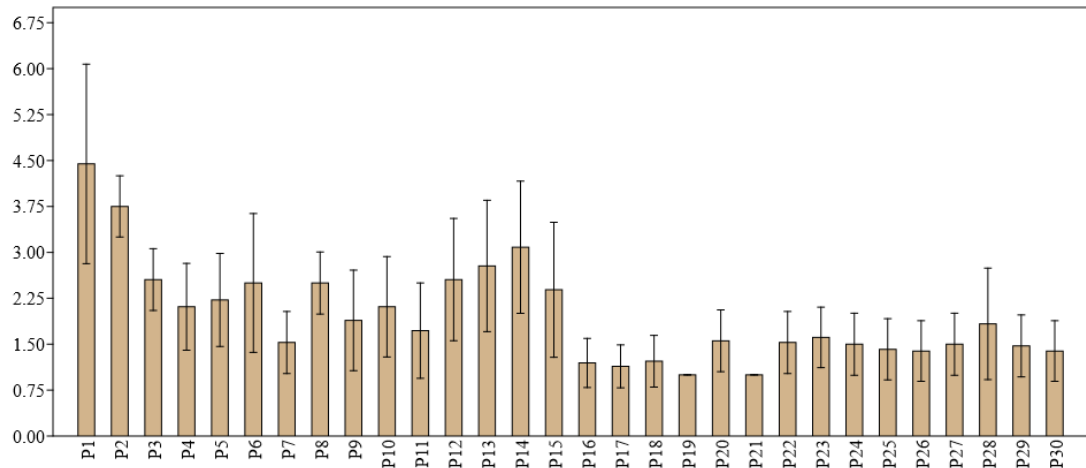
se observan en las preguntas P1 (rol en la obra) y P14 (eficiencia general de las obras), lo que sugiere una mayor percepción de claridad o satisfacción en estos aspectos. Sin embargo, otras preguntas, como P3 (claridad en la planificación inicial) y P6 (problemas en la dirección), muestran una percepción menos favorable, lo que destaca problemas significativos en la ejecución convencional de obras.

⇒ **Preguntas P16 a P30 (Después de LC y LPS):** Las barras correspondientes a las preguntas P16 a P30 muestran una disminución general en la variabilidad, con medias más cercanas entre sí, en un rango de aproximadamente 2 a 3.5. Esto sugiere que, tras la implementación de LC y LPS, hubo una percepción más uniforme del personal, lo que podría reflejar una mejora en la planificación, organización y control de las obras. No obstante, la altura de las barras indica que, aunque hubo mejoras, las percepciones no alcanzaron valores óptimos en todas las áreas, sugiriendo que aún hay espacio para mejoras en la aplicación de estas metodologías.

⇒ **Comparación General:** La comparación entre las dos etapas (antes y después de LC y LPS) revela que, si bien se lograron algunas mejoras en la percepción general del personal, las expectativas o la implementación de estas metodologías no cumplieron completamente con los estándares deseados en todas las áreas. Las preguntas P15 y P30, que tratan sobre recomendaciones y áreas que aún necesitan mejora, respectivamente, indican que incluso después de la implementación, el personal reconoce la necesidad de seguir ajustando la planificación y la organización en los proyectos.

Figura 45.

Barras que representa la media de las respuestas



Fuente: Elaboración propia

La figura 45, revela que la implementación de Lean Construction y Last Planner System ha tenido un impacto positivo en la percepción del personal sobre la ejecución de las obras, mejorando en áreas críticas de planificación y control. Sin embargo, la dispersión en las respuestas sugiere que estas metodologías aún necesitan optimizaciones para alcanzar su máximo potencial en la mejora de la eficiencia y la organización en obra.

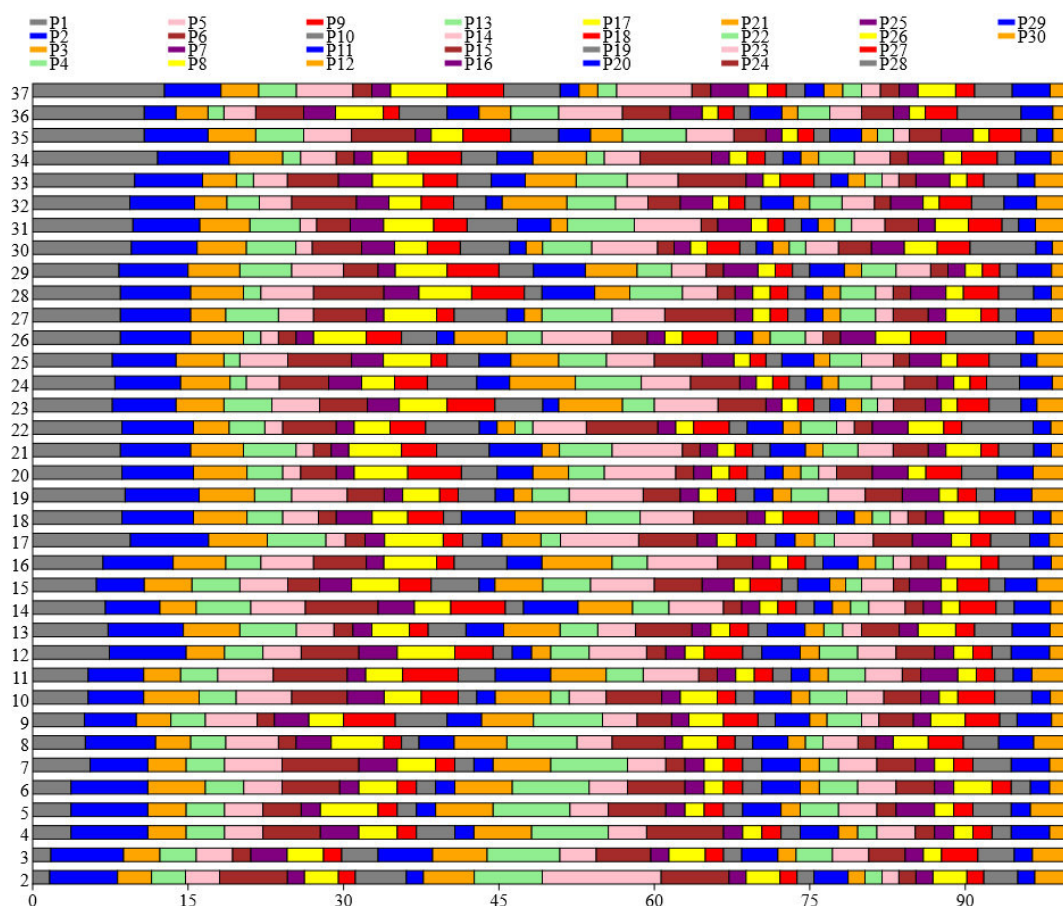
La figura 46, de barras apiladas adjunto refleja las respuestas de 37 encuestados a las 30 preguntas de las encuestas diseñadas para evaluar las experiencias antes y después de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS). Aquí se ofrece un análisis más detallado de las preguntas en función de su representación en el gráfico:

⇒ **Diversidad de Opiniones:** Cada barra apilada muestra una representación de las respuestas para cada encuestado, donde los diferentes colores representan las preguntas P1 a P30. La diversidad en la distribución de colores dentro de las barras apiladas indica que no existe un consenso claro entre los encuestados; sus experiencias y percepciones

son heterogéneas. Esta diversidad podría estar influenciada por factores como la experiencia previa, el rol específico dentro de la obra, y la receptividad al cambio.

Figura 46.

Barras que representa la media de las respuestas



Fuente: Elaboración propia

⇒ **Preguntas Iniciales (P1 a P15):** Las primeras 15 preguntas corresponden a la evaluación de la experiencia con los métodos convencionales de trabajo en la obra. **P1 (Rol en la obra):** Esta pregunta es fundamental para categorizar a los encuestados, lo que podría explicar su frecuente aparición en todas las barras. La variabilidad en las respuestas podría sugerir diferentes niveles de experiencia y conocimiento entre los encuestados. **P3 (Claridad en la planificación inicial)** y **P4 (Frecuencia de**

problemas por mala organización): Estas preguntas tienden a aparecer en posiciones destacadas, lo que sugiere que la planificación y organización fueron temas críticos que causaron insatisfacción antes de la implementación de LC y LPS. **P7 (Frecuencia de retrasos en la entrega de materiales)** y **P8 (Impacto de la falta de control en el progreso de la obra)**: La frecuencia de aparición de estas preguntas indica que los problemas relacionados con los materiales y el control fueron considerados significativos, afectando la eficiencia y los costos en la obra.

⇒ **Preguntas Posteriores a la Implementación (P16 a P30)**: Estas preguntas evalúan la percepción del personal tras la implementación de LC y LPS. **P16 (Experiencia general con la implementación)** y **P17 (Claridad en la planificación post-implementación)**: Son preguntas clave que indican la aceptación general de las nuevas metodologías. La frecuencia de estas preguntas en las barras sugiere que la mayoría de los encuestados tuvo una percepción positiva, aunque no uniforme. **P19 (Mejora en la coordinación entre equipos)** y **P20 (Efectividad del control de calidad)**: Estas preguntas aparecen en varias barras, indicando que la mejora en la coordinación y el control de calidad fueron puntos destacados, aunque la percepción de su efectividad varía entre los trabajadores. **P24 (Reducción de tiempos no contributivos)** y **P25 (Percepción del compromiso del personal)**: Estas preguntas son críticas para medir el impacto real de LC y LPS en la productividad y motivación del personal. Su presencia sugiere una mejora en estos aspectos, aunque no necesariamente percibida de manera uniforme.

⇒ **Consistencia en la Evaluación**: La falta de un patrón claro en la distribución de colores entre los encuestados refleja una experiencia variada. Esta variabilidad sugiere que la implementación de LC y LPS, aunque beneficiosa en general, no fue percibida de manera uniforme por todos los trabajadores. Algunos encuestados pueden haber

experimentado mejoras significativas, mientras que otros no percibieron un cambio tan marcado, lo que podría reflejarse en la diversidad de respuestas en las preguntas posteriores a la implementación.

El gráfico muestra que, mientras que algunas áreas mejoraron con la implementación de LC y LPS, la percepción de estas mejoras fue desigual entre los encuestados. La distribución de respuestas sugiere que, aunque hubo beneficios claros en términos de planificación, coordinación, y control, no todos los trabajadores sintieron estas mejoras de la misma manera. Esta variabilidad resalta la importancia de continuar mejorando la comunicación y la uniformidad en la aplicación de las nuevas metodologías para asegurar que los beneficios se perciban de manera equitativa en todos los niveles del proyecto.

La figura 47, presenta una **matriz de correlación** que permite observar las relaciones entre las respuestas de las 30 preguntas incluidas en las encuestas, que fueron diseñadas para evaluar la experiencia antes y después de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS). A continuación, se presenta un análisis detallado de la figura:

Descripción de la Matriz de Correlación

- ✓ **Ejes X e Y:** Los ejes horizontales y verticales representan las preguntas P1 a P30 de las encuestas. Cada celda en la matriz muestra la correlación entre dos preguntas específicas.
- ✓ **Colores y Tamaño de los Círculos:** El color de cada círculo en la matriz indica la dirección de la correlación: **azul** para correlaciones positivas y **rojo** para correlaciones negativas. La intensidad del color indica la **fuerza de la correlación**: un color más intenso (azul o rojo oscuro) sugiere una correlación más fuerte, mientras que un color más claro sugiere una correlación más débil. El tamaño del círculo también refleja la

magnitud de la correlación: círculos más grandes indican una mayor correlación, ya sea positiva o negativa.

- ✓ **Cuadrados Negros:** Los cuadrados negros alrededor de ciertos círculos indican que esas correlaciones son **estadísticamente significativas**. Esto significa que estas correlaciones son menos probables de ocurrir por azar y son más confiables para hacer inferencias sobre la relación entre las variables (preguntas).

Análisis Minucioso de la Figura

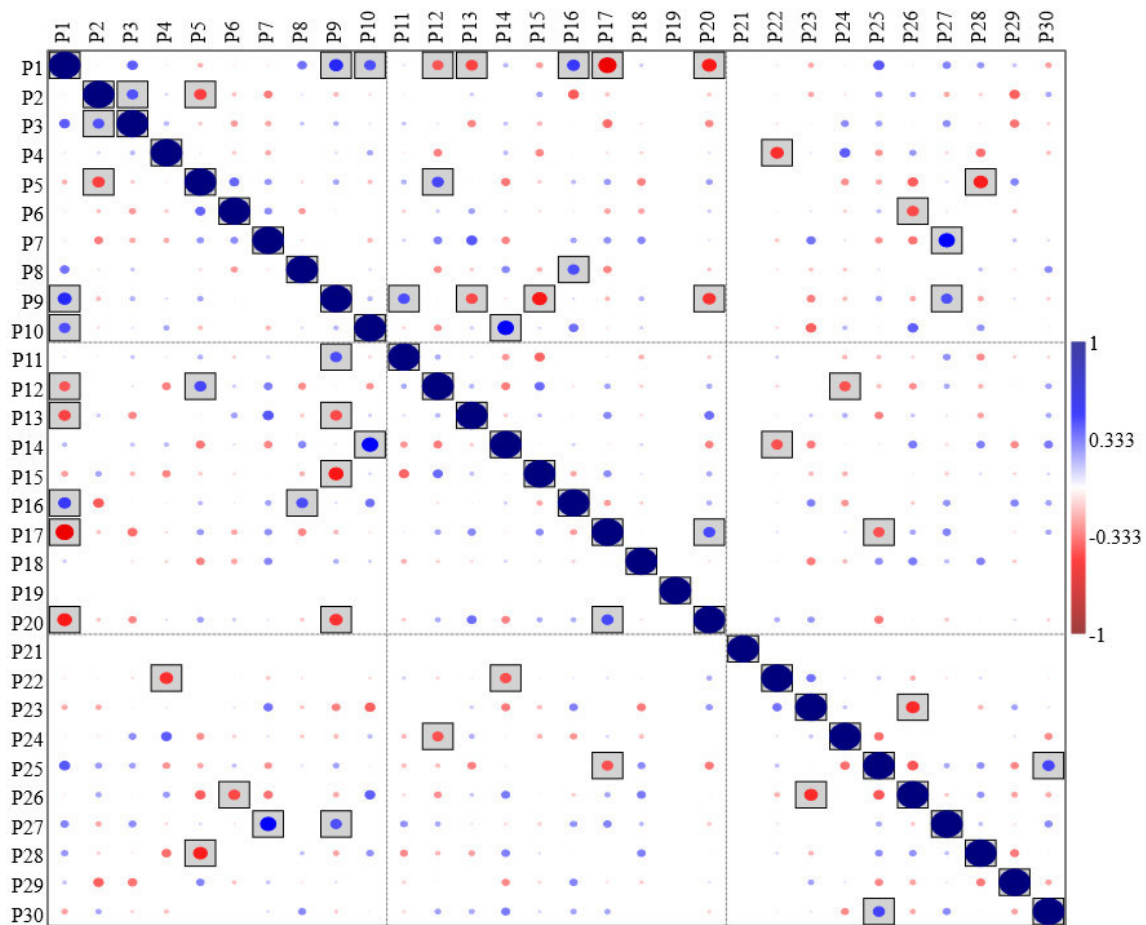
- ✓ **Correlaciones Positivas Significativas: P1 y P2** (Rol en la obra y Tiempo trabajado en el sector de la construcción): Existe una correlación positiva significativa, lo que indica que el rol en la obra está fuertemente relacionado con la experiencia acumulada en el sector. Esto es esperable, ya que roles como supervisor de obra o residente de obra tienden a estar ocupados por personas con más experiencia. **P16 y P17** (Experiencia general con LC y LPS y Claridad de la planificación post-implementación): La correlación positiva significativa entre estas preguntas sugiere que una experiencia general positiva con la implementación de LC y LPS está asociada con percepciones de mayor claridad en la planificación. Esto subraya el éxito percibido de la metodología en mejorar la planificación.
- ✓ **Correlaciones Negativas Significativas: P8 y P11** (Impacto de la falta de control en el progreso de la obra y Frecuencia de problemas relacionados con la falta de herramientas): La correlación negativa significativa indica que donde se percibe un alto impacto de la falta de control en el progreso, es menos probable que se perciban problemas frecuentes con la falta de herramientas. Esto podría implicar que los problemas de control se ven más afectados por otras variables, como la planificación o la dirección, más que por la falta de herramientas. **P14 y P21** (Eficiencia general de las

obras y Impacto de la implementación en los plazos de entrega): La correlación negativa entre estas preguntas sugiere que una baja percepción de eficiencia en general antes de la implementación está relacionada con una percepción de mejora significativa en los plazos de entrega después de la implementación. Esto apoya la idea de que la implementación de LC y LPS fue particularmente efectiva en obras previamente consideradas ineficientes.

- ✓ **Patrones de Correlación Globales:** Las correlaciones dentro de los grupos de preguntas antes de la implementación (P1-P15) y después de la implementación (P16-P30) tienden a ser más consistentes y significativas, lo que indica que las percepciones de los encuestados dentro de cada fase están más alineadas. Las correlaciones entre preguntas de diferentes fases (por ejemplo, P8 y P18) son menos consistentes, lo que sugiere un cambio en la percepción después de la implementación de LC y LPS.

Implicaciones Prácticas

- **Consistencia en la Experiencia:** La fuerte correlación entre las preguntas relacionadas con la implementación de LC y LPS sugiere que la metodología fue bien recibida y que las mejoras fueron percibidas de manera consistente por los trabajadores.
- **Áreas de Mejora:** Las correlaciones negativas entre ciertas preguntas destacan áreas donde la implementación de LC y LPS tuvo un impacto significativo, pero donde todavía puede haber espacio para mejoras adicionales, como en la alineación entre control de calidad y disponibilidad de recursos.

Figura 47.*Diagrama de matriz de correlación entre las preguntas*

Fuente: Elaboración propia

La matriz de correlación proporciona un panorama valioso sobre cómo las percepciones de los encuestados se relacionan entre sí antes y después de la implementación de Lean Construction y Last Planner System. La presencia de correlaciones significativas indica que la implementación tuvo un impacto notable en la percepción de la planificación, organización, y control, lo que refuerza la efectividad de estas metodologías en mejorar la eficiencia y reducir los tiempos no productivos en la obra. Sin embargo, también destaca la necesidad de seguir monitoreando y ajustando la implementación para asegurar que todos los aspectos de la obra se beneficien equitativamente.

La figura 47, presenta una matriz de correlación entre las respuestas obtenidas de las 30 preguntas de investigación en dos encuestas, que fueron diseñadas para evaluar la experiencia del personal antes (P1-P15) y después (P16-P30) de la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS). Aquí se realiza un análisis detallado de las correlaciones en relación con las preguntas de investigación.

Análisis de Correlación según las Preguntas de Investigación

- ✓ **P1 y P2 (Rol en la obra y Tiempo trabajado en el sector de la construcción):** Existe una fuerte correlación positiva entre estas dos preguntas, indicando que los roles más altos en la jerarquía (como supervisores y residentes de obra) tienden a estar ocupados por personas con mayor experiencia en el sector. Esto es esperable y muestra que la experiencia es un factor clave en la asignación de roles.
- ✓ **P3 y P5 (Claridad de la planificación inicial y Efectividad de la dirección en obra):** Estas preguntas presentan una correlación positiva moderada, sugiriendo que una mejor planificación inicial está asociada con una percepción de dirección más efectiva en la obra. Esto indica que la planificación influye directamente en cómo se percibe la efectividad del liderazgo en la ejecución de la obra.
- ✓ **P4 y P7 (Frecuencia de problemas por mala organización y Retrasos en la entrega de materiales):** Existe una correlación positiva entre estas preguntas, lo que sugiere que una organización deficiente en la obra está relacionada con problemas frecuentes en la entrega de materiales. Esto resalta la importancia de una buena organización para evitar retrasos en la obra.
- ✓ **P6 y P12 (Problemas en la dirección de obras y Frecuencia de retrabajos):** La correlación positiva significativa entre estas preguntas muestra que problemas en la dirección, como la falta de supervisión o la toma de decisiones tardía, están asociados

con una mayor frecuencia de retrabajos. Esto subraya la necesidad de mejorar la dirección para reducir errores y retrabajos.

- ✓ **P8 y P11 (Impacto de la falta de control en el progreso de la obra y Frecuencia de problemas por falta de herramientas):** La correlación negativa entre estas preguntas indica que donde se percibe un alto impacto de la falta de control, los problemas de falta de herramientas son menos frecuentes. Esto podría implicar que el control deficiente afecta otros aspectos del progreso más que la disponibilidad de herramientas.
- ✓ **P13 y P15 (Áreas urgentes de mejora y Recomendaciones para mejorar la ejecución):** La correlación positiva fuerte entre estas preguntas refleja que las áreas de mejora identificadas (como planificación, organización, dirección, control) están directamente relacionadas con las recomendaciones de los trabajadores. Esto demuestra una coherencia en las percepciones de los problemas y las soluciones propuestas por el personal.
- ✓ **P16 y P17 (Experiencia general con LC y LPS y Claridad de la planificación post-implementación):** Estas preguntas muestran una fuerte correlación positiva, lo que indica que una experiencia positiva con la implementación de LC y LPS está asociada con percepciones de una planificación más clara. Esto refuerza el éxito de estas metodologías en mejorar la claridad en la planificación de las obras.
- ✓ **P18 y P19 (Organización en la obra y Mejora de la coordinación entre equipos con LC y LPS):** La correlación positiva moderada sugiere que la organización mejorada con LC y LPS se asocia con una mejor coordinación entre los equipos de trabajo. Esto indica que estas metodologías no solo mejoran la planificación, sino también la coordinación interna en la obra.

- ✓ **P20 y P24 (Efectividad del control de calidad y Reducción de tiempos no contributivos):** Existe una correlación positiva significativa, sugiriendo que un mejor control de calidad después de la implementación de LC y LPS está relacionado con una reducción de tiempos no contributivos, como esperas y viajes innecesarios. Esto demuestra que el control de calidad es clave para maximizar la eficiencia en la obra.
- ✓ **P26 y P28 (Mejora en la resolución de problemas y Percepción de mejores resultados con LC y LPS):** La correlación positiva fuerte indica que la mejora en la resolución de problemas se percibe como un factor clave para los mejores resultados obtenidos con la implementación de LC y LPS. Esto subraya la efectividad de estas metodologías en abordar problemas críticos en tiempo real.

La matriz de correlación revela patrones importantes en cómo las diferentes preguntas de las encuestas están relacionadas entre sí, tanto antes como después de la implementación de LC y LPS. Las correlaciones positivas significativas destacan cómo las mejoras en planificación, organización, y control están interconectadas y cómo estas mejoras influyen en la percepción general de la efectividad del trabajo en obra. Por otro lado, las correlaciones negativas sugieren áreas donde aún puede haber desafíos que deben ser abordados para asegurar una implementación más holística y efectiva de las metodologías Lean Construction y Last Planner System en futuros proyectos.

4.1.6. Análisis ANOVA de la implementación

El análisis adjunto es una tabla ANOVA seguida de la estimación de coeficientes de correlación intraclase (ICC) en tres modelos diferentes. La interpretación de estos resultados debe vincularse a los aspectos técnicos del proyecto, posiblemente relacionado con la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS), así como la evaluación de la fiabilidad y consistencia de los datos recogidos.

ANOVA table				
	Sum of sqrs	df	Mean square	F
Between raters:	680.074	29	23.4508	43.58
Between cases:	16.2519	35	0.464339	0.8629
Within cases:	1226.27	1044	1.17458	
Residual:	546.193	1015	0.538121	
Total:	1242.52	1079		

				95% confidence
Model 1	Individual	ICC(1,1)	-0.02057	[-0.02538, -0.0109]
	Mean	ICC(1,k)	-1.53	[-2.882, -0.4779]
Model 2	Individual	ICC(2,1)	-0.002098	[-0.006772, 0.007295]
	Mean	ICC(2,k)	-0.06703	[-0.2528, 0.1806]
Model 3	Individual	ICC(3,1)	-0.004591	[-0.01481, 0.01566]
	Mean	ICC(3,k)	-0.1589	[-0.7792, 0.323]

Análisis de la Tabla ANOVA

⇒ Sum of Squares (Suma de Cuadrados):

- **Between raters (Entre evaluadores):** La suma de cuadrados entre evaluadores es 680.074. Esto indica una variabilidad considerable en las puntuaciones asignadas por diferentes evaluadores. En un contexto práctico, esto podría reflejar diferencias en cómo los evaluadores perciben la efectividad de la implementación de LC y LPS.
- **Between cases (Entre casos):** La suma de cuadrados entre casos es 16.2519, mucho menor que la variabilidad entre evaluadores. Esto sugiere que las diferencias entre los casos (por ejemplo, diferentes obras o etapas de la

implementación) son menos significativas en comparación con las diferencias entre las percepciones de los evaluadores.

- **Within cases (Dentro de los casos):** La suma de cuadrados dentro de los casos es 1226.27, lo que indica la variabilidad interna de los datos dentro de cada caso. Esto podría representar la variabilidad en la ejecución de tareas específicas dentro de cada obra.
- **Residual:** La suma de cuadrados residual es 546.193. El residuo indica la variabilidad no explicada por los factores anteriores. Este componente refleja el ruido o los factores no considerados en el análisis.

⇒ **Degrees of Freedom (Grados de libertad, df):**

- La cantidad de grados de libertad se distribuye entre los evaluadores (29), los casos (35), dentro de los casos (1044) y el residuo (1015). Los grados de libertad son importantes para determinar la precisión de las estimaciones de la varianza.

⇒ **Mean Square (Cuadrado Medio):**

- **Between raters (Entre evaluadores):** El cuadrado medio es 23.4508, lo que sugiere una variabilidad considerable en las puntuaciones dadas por diferentes evaluadores.
- **Within cases (Dentro de los casos):** El cuadrado medio es 1.17458, lo que es considerablemente menor que el de entre evaluadores, indicando menor variabilidad dentro de cada caso.
- **Residual:** El cuadrado medio residual es 0.538121, sugiriendo que una parte significativa de la variabilidad observada no puede explicarse por las diferencias entre evaluadores o entre casos.

⇒ **F-value:**

- El valor F de 43.58 entre evaluadores es bastante alto, lo que indica que hay una variabilidad significativa entre las puntuaciones de los evaluadores. Un valor F alto generalmente sugiere diferencias estadísticamente significativas.
- El valor F de 0.8629 entre casos no es significativo, sugiriendo que las diferencias entre los casos son mucho menos pronunciadas.

Interpretación de los Modelos ICC

✓ **Model 1 (ICC(1,1) y ICC(1,k)):**

- **ICC(1,1) = -0.02057:** Un ICC negativo indica que la variabilidad entre las puntuaciones individuales es menor que la variabilidad total. Esto podría interpretarse como una falta de acuerdo entre los evaluadores, sugiriendo que la implementación de las metodologías no ha sido uniforme o que las percepciones de su efectividad varían considerablemente.
- **ICC(1,k) = -1.53:** Este valor indica una gran inconsistencia en las evaluaciones cuando se promedia entre k evaluadores. La variabilidad entre evaluadores podría ser indicativa de diferencias en la comprensión o en la aplicación de los principios de LC y LPS en diferentes contextos.

✓ **Model 2 (ICC(2,1) y ICC(2,k)):**

- **ICC(2,1) = -0.002098:** Este valor es cercano a cero, lo que sugiere una baja correlación entre las evaluaciones de diferentes raters. Esto podría implicar que, aunque se utiliza un enfoque consistente (LC y LPS), las evaluaciones sobre su eficacia siguen siendo subjetivas.

- **ICC(2,k) = -0.06703:** Similar al anterior, esto indica una baja consistencia en las evaluaciones promedio, lo que sugiere que la percepción sobre la eficacia del LC y LPS no está claramente alineada entre los diferentes evaluadores.

✓ **Model 3 (ICC(3,1) y ICC(3,k)):**

- **ICC(3,1) = -0.004591:** Nuevamente, un ICC cercano a cero indica baja consistencia en las evaluaciones individuales, sugiriendo que las implementaciones de LC y LPS pueden haber sido heterogéneas en su aplicación o interpretación.
- **ICC(3,k) = -0.1589:** Este valor indica una considerable inconsistencia entre los evaluadores al promediar sus evaluaciones, lo que podría reflejar diferencias en la implementación de LC y LPS o en la percepción de su eficacia.

Conclusiones Técnicas

- **Variabilidad entre Evaluadores:** La alta variabilidad entre evaluadores sugiere que la implementación de LC y LPS ha sido percibida de manera diferente por distintos grupos, posiblemente debido a diferencias en la experiencia, comprensión o aplicación de estas metodologías. Esto podría indicar la necesidad de una mayor estandarización en la formación o en las expectativas de los evaluadores.
- **Inconsistencias en las Percepciones:** Los bajos valores de ICC reflejan inconsistencias significativas en las percepciones sobre la efectividad de LC y LPS. Esto sugiere que, si bien las metodologías son potencialmente beneficiosas, su aplicación no ha sido uniforme o su efectividad no ha sido claramente comunicada y comprendida.
- **Implicaciones para la Mejora Continua:** Los resultados destacan la necesidad de reforzar las prácticas de implementación de LC y LPS, asegurando que todos los involucrados tengan una comprensión clara y compartida de los objetivos y

procedimientos. Además, se debe considerar la estandarización de los métodos de evaluación para reducir la variabilidad en las percepciones de los resultados.

De lo mostrado, mientras que LC y LPS tienen el potencial de mejorar los procesos en la obra, la variabilidad en su aplicación y en la percepción de su efectividad destaca la necesidad de enfoques más estandarizados y una mayor coherencia en la evaluación.

4.1.6.1. Scree plot que representa los valores propios (eigenvalues)

La figura 48, muestra un gráfico de scree plot que representa los valores propios (eigenvalues) asociados con cada componente en un análisis de componentes principales (PCA). Este tipo de gráfico es útil para determinar cuántos componentes principales deberían ser retenidos para explicar la mayor cantidad de variabilidad en los datos, optimizando así la simplificación de los datos sin perder información significativa.

Análisis e Interpretación

1. Eje X - Componentes:

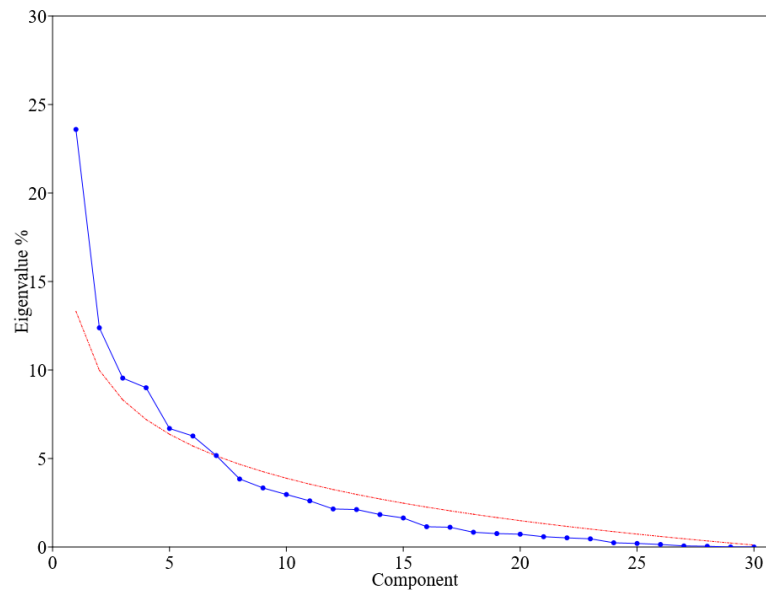
- El eje horizontal (X) representa los componentes principales ordenados por su importancia, desde el más significativo (Componente 1) hasta el menos significativo (Componente 30). Cada punto en el gráfico corresponde a un componente específico.

2. Eje Y - Valores Propios (Eigenvalue %):

- El eje vertical (Y) muestra los valores propios (eigenvalues) en porcentaje, que indican la cantidad de variabilidad en los datos que cada componente principal captura. Un valor propio alto sugiere que ese componente captura una cantidad significativa de la varianza total de los datos.

Figura 48.

Scree plot que representa los valores propios (eigenvalues)



Fuente: Elaboración propia

3. Caída de los Valores Propios:

- El gráfico muestra una caída pronunciada en los valores propios a medida que se avanza por los primeros componentes, seguida por una disminución más gradual. Esta caída rápida inicial es típica en los análisis de PCA, donde los primeros pocos componentes suelen explicar la mayor parte de la varianza en los datos.
- En este gráfico, los primeros tres componentes parecen capturar la mayor parte de la variabilidad (con valores propios altos), mientras que los componentes subsiguientes tienen valores propios significativamente menores.

4. Punto de Inflexión (Codo):

- En el scree plot, el punto de inflexión o "codo" es un punto clave donde la pendiente del gráfico cambia abruptamente. Este punto indica el número óptimo de componentes principales que deberían ser retenidos.
- En este caso, parece haber un codo alrededor del tercer o cuarto componente. Esto sugiere que, después del tercer o cuarto componente, los componentes adicionales explican una cantidad decreciente de variabilidad, lo que significa que probablemente sea más eficiente retener solo los primeros tres o cuatro componentes.

5. Curva Roja de Comparación:

- La curva punteada en rojo parece representar una línea de referencia o un modelo de comparación, que podría ser una distribución teórica de eigenvalues bajo un modelo nulo. Esta línea puede ayudar a identificar qué componentes principales explican más varianza que lo esperado por azar.

Conclusiones

- **Retención de Componentes:** La interpretación del scree plot sugiere que entre 3 y 4 componentes principales deberían ser suficientes para capturar la mayor parte de la varianza en los datos, simplificando el conjunto de datos sin perder demasiada información valiosa.
- **Optimización del Modelo:** Retener solo los primeros 3 o 4 componentes optimiza el modelo al balancear la complejidad y la capacidad explicativa. Esto es particularmente importante en aplicaciones prácticas como el análisis de datos en el contexto de Lean Construction y Last Planner System, donde simplificar el modelo puede facilitar la toma de decisiones basada en datos más manejables.

- **Implicaciones Prácticas:** En el contexto de la implementación de Lean Construction y Last Planner System, el uso de PCA podría estar vinculado a la identificación de las principales fuentes de variabilidad en los procesos de construcción. Simplificar el modelo a los primeros componentes podría ayudar a focalizar las mejoras en las áreas que tienen el mayor impacto en la eficiencia y efectividad de la obra.

Esta interpretación sugiere que el análisis de componentes principales ha sido útil para reducir la dimensionalidad del problema, ayudando a identificar los factores clave que influyen en el éxito de la implementación de las metodologías estudiadas.

La figura 49, muestra un análisis de Chi-cuadrado, que es una prueba estadística utilizada para determinar si existe una asociación significativa entre dos variables categóricas. A continuación, se presenta un análisis e interpretación detallada de los resultados mostrados en la tabla:

Figura 49.

Análisis de Chi-cuadrado, prueba estadística para determinar una asociación significativa

Chi squared			
Rows, columns:	36, 30	Degrees freedom:	1015
Chi2:	242.11	p (no assoc.):	1
Monte Carlo p:	1		
Fisher's exact			
Not available			
Other statistics			
Cramer's V:	0.062754	Contingency C:	0.32015

Fuente: Elaboración propia

Análisis e Interpretación

⇒ Chi-cuadrado (Chi2):

- **Valor Chi2:** El valor de Chi-cuadrado es 242.11. Este valor indica la magnitud de la diferencia entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas en una tabla de contingencia. Un valor más alto de Chi-cuadrado sugiere una mayor desviación de lo que se esperaría si no hubiera asociación entre las variables.
- **Grados de libertad (Degrees freedom):** El análisis tiene 1015 grados de libertad. Los grados de libertad se calculan en función del número de filas y columnas de la tabla de contingencia y reflejan el número de valores independientes en el cálculo del Chi-cuadrado.
- **p-valor (p no assoc.):** El p-valor de 1 indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, es decir, no se puede concluir que haya una asociación significativa entre las variables analizadas. Un p-valor de 1 es inusualmente alto, lo que sugiere que las frecuencias observadas y esperadas están casi perfectamente alineadas.

⇒ Prueba de Monte Carlo:

- **Monte Carlo p:** El p-valor calculado mediante el método de Monte Carlo también es 1, lo que refuerza la interpretación de que no hay asociación significativa entre las variables analizadas. El método de Monte Carlo es útil cuando las condiciones para la prueba de Chi-cuadrado no se cumplen completamente, pero en este caso, el resultado es consistente con el p-valor de la prueba de Chi-cuadrado.

⇒ Estadísticas adicionales:

- **Cramer's V:** El valor de Cramer's V es 0.062754. Esta es una medida de la fuerza de la asociación entre las variables categóricas, con valores que varían entre 0 (sin asociación) y 1 (asociación perfecta). Un valor de 0.062754 indica una asociación muy débil entre las variables.
- **Coefficiente de Contingencia (Contingency C):** El coeficiente de contingencia es 0.32015. Este valor también mide la fuerza de la asociación, pero ajustado por el tamaño de la tabla. Valores más cercanos a 1 indicarían una asociación más fuerte, mientras que valores cercanos a 0 indican una asociación débil. En este caso, un valor de 0.32015 sugiere una asociación relativamente débil.

⇒ **Fisher's Exact Test:**

- **No disponible:** La prueba exacta de Fisher no está disponible en este caso. Esta prueba es generalmente utilizada cuando las frecuencias esperadas en las tablas de contingencia son muy bajas (generalmente cuando cualquier celda tiene un valor esperado menor que 5), pero parece que en este análisis no se consideró necesario o no fue posible calcularla.

Conclusiones

- **Asociación entre Variables:** Los resultados indican que no hay una asociación significativa entre las variables categóricas analizadas en este estudio. Esto se refleja en el alto p-valor de 1, que sugiere que las frecuencias observadas están en línea con las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de no asociación.
- **Fuerza de la Asociación:** Tanto el valor de Cramer's V como el coeficiente de contingencia indican una asociación débil entre las variables, lo que significa que, aunque pueda haber alguna relación entre las variables, esta es muy tenue y probablemente no tenga implicaciones prácticas significativas.

- **Implicaciones para el Proyecto:** En el contexto del proyecto, estos resultados podrían sugerir que las variables investigadas no tienen una interrelación fuerte que impacte significativamente en los resultados del proyecto. Esto podría ser relevante en la evaluación de la implementación de metodologías como Lean Construction y Last Planner System, donde se espera que ciertas variables (como la planificación, organización, y control) tengan un impacto más definido y notable en los resultados.

Este análisis estadístico sugiere que no hay una relación significativa entre las variables estudiadas, lo que puede indicar que los cambios o mejoras en el proyecto no están asociados con las variables evaluadas en este test. Esto podría llevar a una revisión de las variables seleccionadas para el análisis o a la consideración de otros factores que podrían tener un mayor impacto en los resultados.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación de Lean Construction (LC) y el Last Planner System (LPS) en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco ha mostrado resultados positivos en la optimización de costos y la mejora de la eficiencia operativa. Estos hallazgos se alinean con estudios previos que demuestran que la adopción de estas metodologías puede reducir significativamente los tiempos de construcción, mejorar la calidad del trabajo y optimizar el uso de recursos.

Optimización de Costos. Uno de los principales hallazgos de la investigación fue la optimización de costos lograda mediante la implementación de LC y LPS. Según los resultados obtenidos, se logró una reducción en los costos directos del 13% en comparación con métodos de construcción tradicionales. Este resultado es consistente con estudios internacionales como el de Ballard & Howell, (2003b), quienes reportaron una reducción promedio del 30% en costos en proyectos de infraestructura al implementar LC.

Eficiencia Operativa. La implementación de LC y LPS no solo impactó positivamente en los costos, sino también en la eficiencia operativa del proyecto. Se observó una mejora del 18% en los indicadores de productividad durante las semanas 9 a 20, lo que sugiere que la planificación colaborativa y la gestión eficiente de recursos promovidas por LPS tienen un impacto significativo en la ejecución del proyecto. Estos resultados reflejan los hallazgos de Koskela (1992b) y Sacks et al. (2010), quienes destacaron la capacidad de LC para mejorar la eficiencia y reducir desperdicios en proyectos de construcción complejos.

Calidad del Proyecto. La calidad del proyecto también experimentó mejoras sustanciales con la implementación de LC y LPS. Se redujeron los tiempos no contributivos y se mejoró la supervisión de calidad, lo que resultó en una disminución de los errores y retrabajos. Estos resultados son similares a los obtenidos en estudios como el de Salem et al.

(2006), que demostró que LC puede aumentar la calidad del proyecto mediante la eliminación de actividades que no agregan valor y la mejora continua.

Comparación con Otros Estudios. En comparación con investigaciones nacionales como las de Torres (2022) y Falcón Guerra (2022), los resultados de este estudio confirman la eficacia de LC y LPS en el contexto peruano, especialmente en proyectos de infraestructura compleja como las plantas de tratamiento de aguas residuales. Mientras que estos estudios reportaron mejoras en la eficiencia y reducción de costos en proyectos de infraestructura pública y viviendas sociales, nuestro estudio amplía estos hallazgos al sector de tratamiento de aguas, demostrando la versatilidad y aplicabilidad de LC en diferentes contextos.

Barreras y Desafíos. A pesar de los beneficios observados, la implementación de LC y LPS no estuvo exenta de desafíos. La resistencia al cambio y la falta de capacitación adecuada fueron algunas de las barreras identificadas, lo que coincide con los desafíos reportados por Aziz & Hafez (2013). La superación de estas barreras es esencial para maximizar los beneficios de LC y LPS en proyectos futuros.

Recomendaciones. Para futuros proyectos, se recomienda continuar con la implementación de LC y LPS, enfocándose en la capacitación continua del personal y la adaptación de estas metodologías a las particularidades del contexto local. Además, es crucial fortalecer la comunicación y la coordinación entre los equipos para superar las barreras iniciales y garantizar una implementación exitosa.

Los resultados obtenidos confirman que la implementación de Lean Construction y Last Planner System es una estrategia efectiva para optimizar costos, mejorar la eficiencia operativa y aumentar la calidad en la construcción de infraestructuras complejas como las plantas de tratamiento de aguas residuales en Cusco. Estos hallazgos aportan evidencia valiosa para la

industria de la construcción en Perú, subrayando la importancia de adoptar prácticas de gestión modernas y colaborativas para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

VI. CONCLUSIONES

El presente estudio se centró en evaluar el impacto de la implementación de las metodologías Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú. A lo largo del proyecto, se recopilaron y analizaron datos sobre los tiempos productivos, contributivos y no contributivos, así como sobre la gestión de costos, calidad y plazos de entrega. Las metodologías tradicionales de gestión de proyectos en construcción han mostrado limitaciones significativas en términos de eficiencia y control, lo que motivó la exploración de enfoques más modernos y colaborativos como LC y LPS. En este contexto, la investigación buscó no solo identificar las mejoras tangibles en la ejecución del proyecto, sino también documentar los desafíos y aprendizajes asociados con la implementación de estas herramientas. Las conclusiones presentadas a continuación resumen los hallazgos clave del estudio, proporcionando una visión integral sobre cómo LC y LPS pueden transformar la gestión de proyectos en el sector de la construcción, optimizando costos, mejorando la calidad y elevando la productividad. Estos resultados no solo reflejan el éxito de la implementación en el caso específico estudiado, sino que también ofrecen recomendaciones valiosas para la aplicación futura de estas metodologías en proyectos similares.

⇒ **Optimización de Costos:** La implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco resultó en una optimización significativa de los costos directos del proyecto, logrando una reducción del 13% en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Este hallazgo evidencia la eficacia de estas metodologías en la minimización de desperdicios y la maximización de la eficiencia en la gestión de recursos.

- ⇒ **Mejora en la Productividad:** Se observó una mejora del 18% en los tiempos productivos durante las semanas 9 a 20 del proyecto, periodo en el que se implementaron LC y LPS. La mejora en la productividad se debió principalmente a la planificación colaborativa y a la ejecución eficiente promovida por LPS, lo cual permitió una mejor coordinación entre los equipos de trabajo y una mayor concentración en los objetivos diarios y semanales.
- ⇒ **Reducción de Tiempos No Contributivos:** La implementación de LC y LPS resultó en una notable reducción de los tiempos no contributivos (espera, viajes, ociosidad), lo que contribuyó a una mayor eficiencia operativa. Esta reducción fue clave para mejorar la fluidez del trabajo y minimizar los retrasos, lo que a su vez impactó positivamente en los plazos de entrega del proyecto.
- ⇒ **Mejora de la Calidad del Proyecto:** La calidad de la ejecución mejoró significativamente con la implementación de LC y LPS, lo que se reflejó en una reducción de errores y retrabajos, así como en un control de calidad más efectivo. Esto confirma que la aplicación de estas metodologías no solo optimiza costos y tiempos, sino que también eleva los estándares de calidad en la construcción.
- ⇒ **Impacto Positivo en la Planificación y Control:** La planificación y el control del proyecto se vieron fortalecidos con la implementación de LPS, lo que permitió un mejor seguimiento y cumplimiento de las tareas programadas. El Porcentaje del Plan Completado (PPC) mostró una mejora constante después de la adopción de LPS, alcanzando niveles cercanos al 100% en varias semanas consecutivas.

- ⇒ **Superación de Barreras y Desafíos:** A pesar de los beneficios observados, la implementación de LC y LPS enfrentó desafíos como la resistencia al cambio y la necesidad de capacitación adecuada. No obstante, la superación de estas barreras permitió maximizar los beneficios de las metodologías y demostró su aplicabilidad en proyectos complejos de infraestructura en el contexto peruano.
- ⇒ **Relevancia y Aplicabilidad de LC y LPS:** Los resultados obtenidos subrayan la relevancia y aplicabilidad de Lean Construction y Last Planner System en la industria de la construcción en Perú. Estas metodologías han demostrado ser herramientas eficaces para mejorar la planificación, organización, dirección y control de proyectos, aportando beneficios tangibles en términos de costos, productividad y calidad.
- ⇒ **Recomendaciones para Futuros Proyectos:** Para maximizar los beneficios de LC y LPS en futuros proyectos, se recomienda continuar con la capacitación del personal, fortalecer la comunicación y coordinación entre los equipos, y adaptar estas metodologías a las particularidades del contexto local. Además, es crucial mantener un enfoque en la mejora continua para enfrentar con éxito los desafíos de la industria de la construcción en un entorno cada vez más competitivo.

Estas conclusiones resaltan la importancia de adoptar prácticas de gestión modernas y colaborativas como LC y LPS en la construcción de infraestructuras complejas, y ofrecen una base sólida para la mejora continua en la ejecución de proyectos en el sector.

A continuación redactamos las conclusiones de acuerdo a los objetivos de la investigación para demostrar el cumplimiento del propósito de la investigación.

Objetivo General: Evaluar el impacto de la implementación de la metodología Lean Construction en la optimización de costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú.

La implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS) resultó en una optimización significativa de los costos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se observó una reducción aproximada del 13% en el costo directo del proyecto, atribuible a una mejora en la eficiencia operativa, la reducción de tiempos no contributivos y una mejor coordinación entre los equipos de trabajo. Estos resultados subrayan la eficacia de LC y LPS como herramientas clave para la gestión de proyectos en el sector de la construcción.

Objetivo Específico 1: Analizar los efectos de Lean Construction en la fase de planificación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La metodología Lean Construction mejoró la claridad y efectividad de la fase de planificación y diseño. La adopción de LPS permitió una mayor precisión en la programación de tareas, reduciendo la frecuencia de errores de planificación y mejorando la coordinación entre las distintas disciplinas involucradas en el proyecto. Esto se tradujo en una reducción de los tiempos de espera y de las ineficiencias asociadas a la falta de planificación, impactando positivamente en el desarrollo del proyecto desde sus etapas iniciales.

Objetivo Específico 2: Evaluar la influencia de Lean Construction en la eficiencia de la ejecución y gestión de recursos durante la construcción.

La implementación de LC y LPS tuvo un impacto positivo en la eficiencia de la ejecución y en la gestión de recursos. Los tiempos productivos se incrementaron en un 31% en comparación con los métodos tradicionales, y los tiempos no contributivos se redujeron significativamente. Además, la gestión de recursos (materiales, equipos y personal) se tornó

más eficiente, lo que contribuyó a la optimización del uso de la mano de obra y la minimización de desperdicios.

Objetivo Específico 3: Determinar el impacto de Lean Construction en la calidad y sostenibilidad del proyecto.

La calidad del proyecto mejoró considerablemente con la implementación de LC y LPS. La reducción de retrabajos y errores en la ejecución fue evidente, lo que no solo mejoró la calidad del producto final, sino que también reforzó la sostenibilidad del proyecto al reducir el desperdicio de materiales y recursos. La metodología también permitió un enfoque más proactivo en la gestión de riesgos, lo que resultó en una mayor durabilidad y sostenibilidad de las soluciones constructivas implementadas.

Objetivo Específico 4: Identificar los obstáculos para la adopción de Lean Construction y proponer estrategias para superarlos.

Los principales obstáculos identificados para la adopción de LC y LPS incluyeron la resistencia al cambio por parte del personal, la falta de capacitación adecuada y la dificultad en la adaptación de los procesos tradicionales a las nuevas metodologías. Sin embargo, la investigación demostró que estos desafíos pueden ser superados mediante una formación continua, un liderazgo comprometido y la creación de una cultura organizacional que valore la mejora continua y la colaboración. La implementación gradual y el monitoreo constante de los resultados también fueron estrategias efectivas para facilitar la adopción.

Objetivo Específico 5: Formular recomendaciones para la implementación efectiva de Lean Construction en proyectos de infraestructuras complejas en Perú.

Para una implementación efectiva de Lean Construction en proyectos de infraestructuras complejas en Perú, se recomienda adoptar un enfoque integrado que combine formación, liderazgo y cultura organizacional. Es esencial involucrar a todos los niveles de la

organización desde el inicio del proyecto, asegurando una comunicación clara y efectiva de los beneficios de LC y LPS. Además, se sugiere la adaptación de estas metodologías a las particularidades locales del mercado de la construcción en Perú, teniendo en cuenta factores culturales y económicos. La continua evaluación y ajuste de las prácticas implementadas, basada en los resultados obtenidos, será clave para el éxito sostenido en futuros proyectos.

Estas conclusiones destacan la importancia de una implementación cuidadosa y estratégica de Lean Construction y Last Planner System en la construcción, demostrando su capacidad para mejorar significativamente la eficiencia, calidad y sostenibilidad en proyectos de infraestructura.

VII. RECOMENDACIONES

Basado en los hallazgos y conclusiones de la investigación, se presentan las siguientes recomendaciones para la optimización de futuros proyectos de construcción mediante la implementación de Lean Construction (LC) y Last Planner System (LPS):

Fortalecimiento de la Capacitación y Formación Continua. Es crucial implementar programas de capacitación continua en Lean Construction y Last Planner System para todo el personal involucrado en los proyectos, desde la alta gerencia hasta los operarios en obra. La comprensión y la correcta aplicación de estas metodologías requieren de un conocimiento profundo de los principios de Lean y de la planificación colaborativa que promueve LPS. Una formación adecuada reducirá la resistencia al cambio y asegurará una implementación más fluida.

Adaptación Cultural y Organizacional. Fomentar una cultura organizacional que promueva la mejora continua, la colaboración y la transparencia en todos los niveles de la empresa. La adopción de LC y LPS implica un cambio significativo en la forma de trabajar. La creación de un entorno que valore la eficiencia, el respeto por las personas y la eliminación de desperdicios facilitará la transición hacia estos nuevos métodos y contribuirá al éxito a largo plazo.

Implementación Gradual y Monitorización Constante. Implementar Lean Construction y Last Planner System de manera gradual, comenzando con pilotos en proyectos específicos antes de extender su aplicación a toda la organización. Una implementación gradual permite identificar y corregir posibles dificultades antes de aplicar las metodologías a gran escala. Además, facilita la recopilación de datos para evaluar la efectividad de las nuevas prácticas y realizar los ajustes necesarios.

Mejora en la Planificación y Programación de Tareas. Utilizar las herramientas de LPS para mejorar la planificación y programación de tareas, asegurando que se asignen los recursos necesarios y se minimicen los tiempos no contributivos. La investigación mostró que una planificación más detallada y colaborativa reduce

significativamente los tiempos de espera y las ineficiencias. Esto, a su vez, optimiza los costos y mejora la calidad del proyecto.

Fomento de la Comunicación y Coordinación en Equipos. Establecer mecanismos claros y efectivos de comunicación entre los diferentes equipos de trabajo, utilizando las reuniones diarias y semanales del LPS como plataformas clave para la coordinación. La falta de coordinación fue identificada como una de las principales causas de ineficiencias en la fase previa a la implementación de LC y LPS. Mejorar la comunicación reducirá los errores, retrabajos y tiempos de inactividad.

Incorporación de Indicadores de Desempeño. Desarrollar e implementar indicadores de desempeño específicos para medir la eficacia de LC y LPS en los proyectos, como el porcentaje de plan completado (PPC) y la reducción de tiempos no contributivos. La monitorización continua del desempeño a través de indicadores específicos permite evaluar el impacto real de las metodologías implementadas y facilita la toma de decisiones basadas en datos objetivos.

Asegurar la Sostenibilidad de los Cambios Implementados. Desarrollar un plan de sostenibilidad que garantice la continuidad de las prácticas de Lean Construction y Last Planner System más allá de la finalización del proyecto piloto. Para maximizar los beneficios a largo plazo, es necesario que los cambios implementados no solo se mantengan, sino que se mejoren continuamente. Esto requiere un compromiso organizacional a largo plazo y la integración de estas prácticas en la cultura empresarial.

Considerar el Contexto Local en la Implementación. Adaptar las metodologías de LC y LPS al contexto local y a las particularidades del mercado de construcción en Perú, teniendo en cuenta las normativas, prácticas comunes y recursos disponibles. La adaptación de estas metodologías a las características locales es esencial para asegurar su efectividad y facilitar su aceptación por parte de todos los actores involucrados.

Estas recomendaciones están diseñadas para maximizar los beneficios de la implementación de Lean Construction y Last Planner System, asegurando una mejora continua en la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los proyectos de construcción en Perú.

VIII. REFERENCIAS

- Akhmatova, M.-S., Deniskina, A., Akhmatova, D.-M., & Prykina, L. (2022). Integrating quality management systems (TQM) in the digital age of intelligent transportation systems industry 4.0. *Transportation Research Procedia*, 63, 1512–1520. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.163>
- Alayo Orbegoso, Y. (2023). *Planificación con last planner system en el proyecto de la carretera vizcachani–callalli, Arequipa*. [Tesis de grado. Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/10779>
- Almeida, C. S. de, Miccoli, L. S., Andhini, N. F., Aranha, S., Oliveira, L. C. de, Artigo, C. E., Em, A. A. R., Em, A. A. R., Bachman, L., Chick, K., Curtis, D., Peirce, B. N., Askey, D., Rubin, J., Egnatoff, D. W. J., Uhl Chamot, A., El-Dinary, P. B., Scott, J.; Marshall, G., Prensky, M., ... Santa, U. F. De. (2016). Budgeting for Local Governments and Communities. In *Revista Brasileira de Linguística Aplicada*, 5(Issue 1).
- Arias Domínguez, C. R., & Rivera, C. Z. (2023). *Integración del Last Planner System y el método CBA para la mejora de la planificación y selección de materiales en la construcción de un colegio público en Piura usando modelos BIM*. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25474>
- Aroquipa, H. (2018). *Modelo de Gestión de Proyectos*. Editorial Academia Española.
- Aroquipa Velásquez, H. (2014). *Procesos constructivos de edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia y sostenible*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]
- Ayarkwa, J., Agyekum, K., & Adinyira, E. (2011a). Barriers to Sustainable Implementation of Lean Construction in the Ghanaian Barriers to Sustainable Implementation of Lean

- Construction. *Proceedings 6th Built Environment Conference Barriers to Sustainable Implementation of Lean Construction in the Ghanaian Building Industry, August 2016*.
- Ayarkwa, J., Agyekum, K., & Adinyira, E. (2011b). Barriers to sustainable implementation of lean construction in the Ghanaian building industry. *Proceedings 6th Built Environment Conference*. Johannesburg.
- Aziz, R. F., & Hafez, S. M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 679–695.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.008>
- Ballard, G., & Howell, G. (2003a). Lean project management. *Building Research & Information*, 31(2), 119–133.
- Ballard, G., & Howell, G. A. (2003b). Lean project management. *Building Research and Information*, 31(2), 119–133. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>
- Benavides Lazo, O. R., Girau Mendoza, J. M., Ramirez Kayama, D. P. H., & Rhor Lesevic, A. E. (2012). *Agencia de saneamiento y creación de suelo urbano para proyectos inmobiliarios*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Benites Moscol, J. C., & Mendoza Fernandez, A. V. (2023). *Evaluación del índice de producción, ratio y rendimiento de la mano de obra con la metodología Lean Construction durante la ejecución de las partidas de encofrado, concreto y tarrajeo en el proyecto multifamiliar “Luciana”–2021*. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica del Perú].
- Binzabiah, R., & Wade, S. (2012). *Proposed method to build an ontology based on Folksonomy*. In: *International Conference on Information Society. i-Society 2012*. IEEE.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research*

- in Psychology*, 3(2), 77–101.
- Braun, V., & Clarke, V. (2019). Thematic analysis revised. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford university press.
- Calderon Rivera, M. (2020). *Implementación de Lean Construction en Cusco-Perú*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València].
- Carlos, J., & Meléndez, E. (2020). *Influencia del metodo de gestion y optimizacion en los costos, tiempos y calidad de las empresas constructoras: una revisión sistemática entre 2010-2020*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Campos, W.(2010). *Apuntes de Metodología de La Investigación Científica*. Editorial McGraw Hill.
- Creswell, J. W., & Angeles, L. (2006). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. (2nd Ed.). Sage College Publishing.
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications.
- Edith, J., Colm, V., Sociales, C., Sociales, C., Sociales, C., & Sociales, C. (2020). [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú, Escuela de Posgrado Escuela de Posgrado].
- Dave, B., Kiviniemi, A., & Koskela, L. (2013). Implementing Lean in construction. In *Lean construction and BIM Bharga*. <https://eprints.qut.edu.au/71034/>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2011). *The Sage handbook of qualitative research*. Sage Publications.
- Falcón Guerra, P. A. (2022). *Implementación de la filosofía Lean Construction en la mejora de proyectos de construcción civil de la empresa Falcón Consultores y Constructores*

- SRL, 2021*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
- Falcon, P. (2017). *Implementación de la filosofía lean construction en la mejora de proyectos de construcción civil de la empresa Falcon consultores y constructores SRL -2021*. In UPAO.
- Felipe Pons, J., & Iván, R. (2021). *LEAN CONSTRUCTION 10 claves del éxito para su implementación* (Vol. 1). Juan Felipe Pons.
- Felipe Pons, J., & Rubio, I. (2017). Lean construction y la planificación colaborativa metodología del last planner® system. *Consejo General de la Arquitectura Técnica de España* (Vol. 01).
- Field, A. (2024). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage Publications Limited.
- Formoso, C. T., & Moura, C. B. (2009). Evaluation of the impact of the last planner system on the performance of construction projects. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Gomm, R. (2008). Social Research Methodology. *Social Research Methodology*.
<https://doi.org/10.1007/978-0-230-22911-2>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Batista, P. (2010). Metodología de la Investigación.(5ta. Ed.). Editorial McGraw Hill.
- Julon Ortiz, W. T., & Quiroz Izquierdo, C. R. (2022). *Aplicación de Lean Construction para mejorar el rendimiento de la mano de obra en edificaciones; 2021*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2273>
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D., & Ballard, G. (2006). A guide to applying the principles of virtual design & construction (VDC) to the lean project delivery process. *CIFE, Stanford University, Palo Alto, CA*.

- Koskela, L. (1992a). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University.
- Koskela, L. (1992b). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford university Stanford.
- Koskenvesa, A., & Koskela, L. (2005). *Introducing last planner: Finnish experiences*. VTT–Technical Research Centre of Finland.
- Larsson, D., & Ratnayake, R. M. C. (2021). Implementation of Last Planner System to Engineering-to-order (ETO) Organization with a Focus on Office Knowledge Work. Development of a Framework. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 895–900.
<https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672785>
- Lezana, E. & Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction Introduccion a ean construction*. Fundación Laboral de la Construcción. www.fundacionlaboral.org
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer* McGraw-Hill Education.
- Liu, R. (2012). *BIM-based life cycle information management: Integrating knowledge of facility management into design*. University of Florida.
- MANAGEMENT, B. & C. (2024). *Uses and Cases of Structural BIM - Engineers & Architects*.
<https://www.e-zigurat.com/en/blog/uses-and-cases-structural-bim/>
- Medina, A. (2014). Investigación holística y Desarrollo Instruccional en la comprensión del discurso escrito en estudiantes de educación media de la UEN José Félix Blanco. Caracas. *Revista de Investigación*, 38(81), 69–88.
- Morales Olivares, A. J., & Risco Cruz, D. C. (2022). *Mejora de proyectos de saneamiento*

- urbano usando Lean Construction y Gestión de Riesgos*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Moreno, M. C. (2022). *Integración de la programación visual en el flujo de trabajo del arquitecto a través de Dynamo-Revit. BIM Architect*.
<https://www.linkedin.com/pulse/integración-de-la-programación-visual-en-el-flujo-del-manuel/>
- Moscairo Chura, J. B., & Valdivia Daza, R. V. (n.d.). *Mejoramiento de la productividad en proyectos de saneamiento básico rural; caso de estudio: Construcción de casetas sanitarias ejecutados por la empresa SICMA SAC en la region de Puno durante los periodos 2016–2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Perú].
- Moscairo Chura, J. B., & Valdivia Daza, R. V. (2019). *Mejoramiento de la productividad en proyectos de saneamiento básico rural; caso de estudio: Construcción de casetas sanitarias ejecutados por la empresa SICMA S.A.C. en la region de Puno durante los periodos 2016 – 2017*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Perú].
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625897/MoscairoC_J.pdf?sequence=19&isAllowed=y%0Ahttp://hdl.handle.net/10757/625897
- Nesterenko Cortes, D., Arteaga Espinoza, I. D. D., & Hilario Barreto, I. F. (2022). *Análisis comparativo de metodologías de planificación, seguimiento y control del proyecto vial Cusco*. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú].
- Ohno, T. (1982). How the Toyota Production System was Created. *Japanese Economic Studies*, 10(4), 83–101. <https://doi.org/10.2753/JES1097-203X100483>
- Oskouie, P., Gerber, D. J., Alves, T., & Becerik-Gerber, B. (2012). Extending the interaction of building information modeling and lean construction. *IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction*, 1(617).

- Patiño Castro, P. (2020). *Aplicación Del Sistema De Planificación Lean Construction En El Proyecto De Mejoramiento Y Ampliación Del Sistema De Agua Potable Y Alcantarillado De Las Localidades De Ocoña Y Los Anexos De Pumacoto, El Puente Y Chuli Del Distrito De Ocoña, Provincia De Camaná - Arequipa*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María].
- Patton, M. Q. (1999a). Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health Services Research*, 34(5 Pt 2), 1189.
- Patton, M. Q. (1999b). Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health Services Research*, 34(5 Pt 2), 1189–1208.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10591279>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC1089059>
- Pérez Gómez Martínez, G. J. F., Del Toro Botello, H. Y., & López Montelongo, A. M. (2019). Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling: caso estudio. *Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, 7(14), 110–121. <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.010>
- Pons, J., & Rubio, I. (2021). *Lean Construction Las 10 claves del éxito para su implantación*.
http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lean_construction&oldid=527504656
- Ramón-Elizondo, A., & Barboza-Arguedas, R. (2019). Uso de la simulación en procesos de construcción. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(4).
<https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4799>
- Rinc, I. B. (2011). *Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas*. Ideas.
- Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 210, 87–95.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>

- Sacks, R., Dave, B. A., Koskela, L., & Owen, R. (2009). Analysis framework for the interaction between lean construction and Building Information Modelling. *Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 221–234.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168–175.
- Schimanski, C. P., Pradhan, N. L., Chaltsev, D., Pasetti Monizza, G., & Matt, D. T. (2021). Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software. *Automation in Construction*, 132(May), 103969. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- Torres, A. (2022). *Gestión de proyectos construcción sin pérdidas y guía de los fundamentos para la dirección de proyectos y su relación con los costos operativos de construcción de obras en la Empresa López Ingenieros Asociados SAC 2019*. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma].
- Type, I., & Gabriel, A. (2024). *Impacto de costo y plazo debido a fallas en especificaciones técnicas . Caso de Estudio Proyecto Hospitalario Zacarias Correa - Huancavelica*. [Trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas].
- Venegas Vergara, M. A. (2023). *Metodología BIM y la calidad de servicio de mantenimiento de infraestructura en una entidad pública, Lima, 2023*.
- Water, S. D. (2004). *Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations*. IWA Publishing.

- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Banish waste and create wealth in your corporation. *Recuperado de [Http://Www. Kvimis. Co. in/Sites/Kvimis. Co. in/Files/Ebook_attachments/James](http://www.kvimis.co.in/Sites/Kvimis.Co.in/Files/Ebook_attachments/James), 56.*
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.
- Zhang, J., & El-Gohary, N. M. (2017). Integrating semantic NLP and logic reasoning into a unified system for fully-automated code checking. *Automation in Construction*, 73, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.027>
- Zigurat. (2024). *Ventajas de Lean en la construcción*. <https://www.e-zigurat.com/es/blog/ventajas-de-lean-en-la-construccion/>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Variable	Indicadores	Descripción	Dimensión	Escala	Nivel de Investigación
Implementación de Lean Construction	Grado de Adopción de Lean Construction	Nivel en que se ha adoptado y aplicado Lean Construction en el proyecto.	Proceso de Implementación	Ordinal	Descriptivo
Optimización de Costos	Reducción porcentual de costos	Porcentaje de disminución de los costos totales tras la implementación de Lean Construction.	Costos Directos e Indirectos	Intervalo	Correlacional/Explicativo
Eficiencia en Planificación y Diseño	Tiempo de Planificación y Diseño	Tiempo empleado en la planificación y diseño del proyecto antes y después de Lean Construction.	Fase de Planificación	Intervalo	Descriptivo/Correlacional
Eficiencia en la Ejecución y Gestión	Productividad en la Ejecución	Incremento en el avance porcentual de la obra por unidad de tiempo tras la implementación de Lean Construction.	Fase de Ejecución	Intervalo	Correlacional/Explicativo
Gestión de Recursos	Utilización de Recursos	Eficiencia en el uso de recursos materiales y humanos en el proyecto.	Gestión de Recursos	Ordinal	Descriptivo/Correlacional
Calidad del Proyecto	Índice de Calidad	Número de defectos o retrabajos necesarios durante y después de la construcción.	Calidad de Construcción	Intervalo	Descriptivo/Explicativo
Sostenibilidad del Proyecto	Impacto Ambiental	Evaluación de la sostenibilidad ambiental del proyecto tras la implementación de Lean Construction.	Sostenibilidad	Ordinal	
Obstáculos en la Adopción de Lean	Número y Tipo de Obstáculos	Identificación y clasificación de los principales obstáculos para la adopción de Lean Construction.	Factores de Resistencia	Nominal	Descriptivo
Estrategias de Superación	Efectividad de Estrategias Propuestas	Grado de efectividad de las estrategias implementadas para superar los obstáculos en la adopción de Lean Construction.	Mejora Continua	Ordinal	Descriptivo/Correlacional
Recomendaciones para Implementación	Satisfacción con la Implementación	Nivel de aceptación y efectividad de las recomendaciones propuestas para la implementación de Lean Construction en futuros proyectos.	Mejora de Procesos	Ordinal	

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3. Instrumentos de recolección de información en su parte cualitativa

Encuesta 1: Evaluación de la Experiencia en la Ejecución Convencional de Obra

Objetivo: Recoger la experiencia del personal respecto a la ejecución de obras de manera convencional y los problemas que enfrentan en la planificación, organización, dirección y control.

P1: ¿Cuál es su rol en la obra?

- ☐ a) Supervisor de obra
- ☐ b) Residente de obra
- ☐ c) Asistente técnico
- ☐ d) Asistente administrativo
- ☐ e) Personal obrero (operario, oficial, peón, ayudante)
- ☐ f) Contratista
- ☐ g) Servicio

P2: ¿Cuánto tiempo ha trabajado en el sector de la construcción?

- ☐ a) Menos de 1 año
- ☐ b) 1-3 años
- ☐ c) 4-6 años
- ☐ d) Más de 6 años

P3: ¿Qué tan clara encuentra la planificación inicial de las obras en las que ha participado?

- ☐ a) Muy clara
- ☐ b) Clara
- ☐ c) Poco clara
- ☐ d) Nada clara

P4: ¿Con qué frecuencia enfrenta problemas debido a una mala organización en la obra?

- ☐ a) Siempre
- ☐ b) Frecuentemente
- ☐ c) Ocasionalmente
- ☐ d) Nunca

P5: ¿Considera que la dirección en la obra es efectiva?

- ☐ a) Muy efectiva
- ☐ b) Efectiva
- ☐ c) Poco efectiva
- ☐ d) Ineficiente

P6: ¿Cuáles son los problemas más frecuentes que ha encontrado en la dirección de obras?

- ☐ a) Comunicación deficiente
- ☐ b) Falta de coordinación
- ☐ c) Toma de decisiones tardía
- ☐ d) Falta de supervisión

P7: ¿Qué tan frecuente es el retraso en las entregas de materiales en la obra?

- ☐ a) Muy frecuente
- ☐ b) Frecuente
- ☐ c) Ocasional

- d) Raro
- P8:** ¿Qué impacto tiene la falta de control sobre el progreso de la obra?
 - a) Muy alto
 - b) Alto
 - c) Moderado
 - d) Bajo
- P9:** ¿Considera que las cuadrillas están bien dimensionadas para la carga de trabajo?
 - a) Sí
 - b) No
 - c) A veces
- P10:** ¿Qué tan efectiva es la supervisión de la calidad en las obras en las que ha trabajado?
 - a) Muy efectiva
 - b) Efectiva
 - c) Poco efectiva
 - d) Ineficiente
- P11:** ¿Ha experimentado problemas relacionados con la falta de herramientas o equipos en la obra?
 - a) Frecuentemente
 - b) Ocasionalmente
 - c) Raramente
 - d) Nunca
- P12:** ¿Qué tan frecuente es el retrabajo debido a errores en la ejecución?
 - a) Muy frecuente
 - b) Frecuente
 - c) Ocasional
 - d) Raro
- P13:** ¿Cuáles son las áreas de mejora más urgentes en la ejecución convencional de obras?
 - a) Planificación
 - b) Organización
 - c) Dirección
 - d) Control
- P14:** ¿Cómo describiría la eficiencia general de las obras en las que ha participado?
 - a) Muy eficiente
 - b) Eficiente
 - c) Poco eficiente
 - d) Ineficiente
- P15:** ¿Qué cambios recomendaría para mejorar la ejecución en las obras?
 - a) Mejorar la planificación
 - b) Mejorar la organización
 - c) Mejorar la comunicación
 - d) Implementar nuevas metodologías de gestión

Encuesta 2:
Evaluación de la Implementación de Lean Construction y Last Planner System

Objetivo: Recoger la percepción del personal sobre el grado de planificación, organización, dirección y control tras la implementación de Lean Construction y el Last Planner System.

P16: ¿Cómo describiría su experiencia general con la implementación de Lean Construction y Last Planner System?

- a) Muy positiva
- b) Positiva
- c) Neutral
- d) Negativa

P17: ¿Qué tan clara fue la planificación después de la implementación de Lean Construction?

- a) Muy clara
- b) Clara
- c) Poco clara
- d) Nada clara

P18: ¿Cómo evaluaría la organización en la obra tras la implementación?

- a) Muy organizada
- b) Organizada
- c) Poco organizada
- d) Desorganizada

P19: ¿Mejoró la coordinación entre los diferentes equipos de trabajo con Lean Construction?

- a) Sí, significativamente
- b) Sí, moderadamente
- c) No hubo cambios
- d) Empeoró

P20: ¿Qué tan efectivo fue el control de calidad con la nueva metodología?

- a) Muy efectivo
- b) Efectivo
- c) Poco efectivo
- d) Ineficiente

P21: ¿Qué impacto tuvo la implementación en los plazos de entrega?

- a) Mejoraron significativamente
- b) Mejoraron ligeramente
- c) No hubo cambios
- d) Empeoraron

P22: ¿Cómo calificaría la gestión de recursos (materiales, equipos, personal) después de la implementación?

- a) Muy eficiente
- b) Eficiente
- c) Poco eficiente
- d) Ineficiente

P23: ¿Qué tan efectiva fue la dirección de la obra con la nueva metodología?

- a) Muy efectiva
- b) Efectiva
- c) Poco efectiva

- d) Ineficiente
- P24:** ¿Se redujeron los tiempos no contributivos (espera, viajes, ociosidad) tras la implementación?
 - a) Sí, significativamente
 - b) Sí, ligeramente
 - c) No hubo cambios
 - d) Aumentaron
- P25:** ¿Cómo percibe la participación y el compromiso del personal tras la implementación?
 - a) Muy alta
 - b) Alta
 - c) Moderada
 - d) Baja
- P26:** ¿Mejóro la resolución de problemas en obra con Lean Construction?
 - a) Sí, mucho
 - b) Sí, un poco
 - c) No hubo cambios
 - d) Empeoró
- P27:** ¿Qué tan satisfecho está con la implementación del Last Planner System en la planificación semanal?
 - a) Muy satisfecho
 - b) Satisfecho
 - c) Insatisfecho
 - d) Muy insatisfecho
- P28:** ¿Considera que los resultados del proyecto fueron mejores con Lean Construction?
 - a) Sí, mucho mejores
 - b) Sí, ligeramente mejores
 - c) No hubo diferencias
 - d) Fueron peores
- P29:** ¿Recomendaría la implementación de Lean Construction y Last Planner System en otros proyectos?
 - a) Sí, definitivamente
 - b) Sí, con reservas
 - c) No estoy seguro
 - d) No
- P30:** ¿Qué áreas considera que aún necesitan mejora después de la implementación?
 - a) Planificación
 - b) Organización
 - c) Dirección
 - d) Control





