



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Aplicación de herramientas de la filosofía Lean
Construction en una losa prefabricada correspondiente a la
construcción de una institución educativa**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Mirely Alexandra Anton Coronado
Kassandra Pricisla Salas Alvarado**

**Asesor:
Mgtr. Jorge Alberto Timaná Rojas**

Piura, agosto de 2024



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Mirely Alexandra Anton Coronado, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 71718079.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Aplicación de herramientas de la filosofía Lean Construction en una losa prefabricada correspondiente a la construcción de una institución educativa"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Kassandra Pricila Salas Alvarado, identificado con DNI N° 73199897
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Jorge Alberto Timaná Rojas, identificado con DNI N° 02779955
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 28/05/2024.

Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, **Kassandra Priscila Salas Alvarado**, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 73199897.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Aplicación de herramientas de la filosofía Lean Construction en una losa prefabricada correspondiente a la construcción de una institución educativa"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Mirely Alexandra Anton Coronado, identificado con DNI N° 71718079
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Jorge Alberto Timaná Rojas, identificado con DNI N° 02779955
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 28/05/2024.



.....
Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Agradecimientos

A mis padres, Patricia y Roel, por su esfuerzo y dedicación constante, todo esto tiene su sello. A mis abuelos, Inés, Lidia, Manuel y Alfonso, por su cariño incondicional y sus anécdotas interminables. A la familia Herrera Lavalle, por su apoyo y por estar presente en todos mis logros. A Ricardo Izquierdo, por llegar a mi vida e impulsarme día a día. Y a todas las personas que estuvieron en el proceso.

Para mi mamá, la persona que siempre me da fuerzas y motivos para salir adelante y mi padre que me da su apoyo constante. A mis abuelos Mario, Rita y María Elodia que siempre me guían en cada paso. Y a Dios por permitirnos llegar hasta aquí y ser la luz en cada proyecto de nuestra vida.



Resumen

La industria de la construcción influye significativamente en la calidad de vida de las personas y en el desarrollo económico de un país. Sin embargo, un estudio realizado en 2004 por el *Construction Industry Institute* y el *Lean Construction Institute* reveló que aproximadamente el 57% del esfuerzo, los materiales y el tiempo invertidos en los proyectos de construcción no generan valor añadido en el producto final (Pons & Rubio, 2019).

La filosofía de *Lean Construction* se centra en la eliminación de pérdidas y el aumento de la eficiencia productiva. En este contexto, el propósito de la presente investigación es aplicar la filosofía *Lean Construction*, específicamente la herramienta *Last Planner System* en la ejecución de la partida de losa prefabricada, en el proyecto "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517"; así mismo, comparar los resultados obtenidos con otras investigaciones (Morales y Galeas, 2006; Ghio, 2001) donde se empleó esta metodología.

En primer lugar, se identificaron y describieron las herramientas aplicables a las etapas de planificación y ejecución. Se emplearon un total de ocho herramientas Lean para planificar y controlar la ejecución de la partida de losa prefabricada del proyecto entre las cuales se incluyen: sectorización, master plan, tren de actividades, *lookahead*, análisis de restricciones, planificación semanal, porcentaje de plan cumplido (PPC) y nivel general de actividad (NGA). La aplicación de estas herramientas para la planificación y ejecución de la losa prefabricada comenzó con la sectorización, previamente definida en el expediente técnico. Posteriormente con el master plan ya elaborado por la empresa "Constructora Miraflores Perú S.A.C.", se procedió a la elaboración del tren de actividades, para luego elaborar el *lookahead*, para una programación de 4 semanas. Posteriormente se identificó y analizó las restricciones. Luego, se realizó la planificación semanal para determinar lo que se realizará en cada una de las 4 semanas, para evaluar la productividad del proyecto se evaluará el PPC y el NGA.

En la partida de losa prefabricada se alcanzó un PPC promedio del 89.29% a lo largo de las 4 semanas. A pesar de haber logrado un PPC del 100% en la semana 44 y 45, este rendimiento se contrarrestó con semana 47, pues alcanzó el punto más bajo del PPC.

Las actividades se categorizaron en trabajos productivos (TP), trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC). Los resultados mostraron un 40% de TP, un 38% de TC y un 22% de TNC. Las esperas y descansos fueron las actividades que menor contribuyeron a la ejecución de la partida, representando un 40% del TNC. Así mismo, el acarreo de material representó un 45% del TC. Los resultados de esta investigación superan a los registrados en estudios anteriores (Morales y Galeas, 2006; Ghio, 2001). Por ello, respaldan la eficacia de la herramienta *Last Planner System*.

En conclusión, la implementación de las ocho herramientas en la partida de la losa prefabricada en el proyecto condujo a un aumento en la productividad y a una reducción significativa de los desperdicios (TC y TNC).

Tabla de contenido

Introducción	9
Capítulo 1 Marco teórico.....	11
1.1 Lean Construction.....	11
1.2 Historia de Lean Construction.....	14
1.3 Modelo tradicional Vs modelo <i>Lean Construction</i>	14
1.3.1 <i>Enfoque tradicional</i>	14
1.3.2 <i>Enfoque Lean</i>	16
1.4 Herramientas de la Filosofía <i>Lean Construction</i>	18
1.4.1 <i>Last Planner System(LPS)</i>	19
Capítulo 2 Descripción del proyecto.....	27
2.1 Descripción del proyecto.....	27
2.2 Organigrama del proyecto	30
Capítulo 3 Metodología	31
3.1 Sectorización.....	33
3.2 <i>Master plan</i>	34
3.3 Tren de actividades.....	35
3.4 <i>Lookahead</i>	36
3.5 Análisis de restricciones	38
3.6 Planificación semanal	39
3.7 Porcentaje de plan cumplido	41
3.8 Nivel General de Actividad (NGA).....	44
Capítulo 4 Discusión de resultados	45
Conclusiones.....	52
Recomendaciones.....	53
Referencias.....	54
Apéndices.....	56
Apéndice A Nivel general de actividades	57

Lista de tablas

Tabla 1 Desperdicios en la producción	12
Tabla 2 Formato del Nivel General de Actividad (NGA)EDIFICA obra Barranco 360.....	26
Tabla 3 Módulo Básico de Reconstrucción: ambientes por nivel educativo de educación básica regular	28
Tabla 4 Herramientas disponibles y aplicadas en la filosofía Lean Construction.....	31
Tabla 5 Volumen de concreto para los elementos verticales y horizontales del sector A, B, C y D	33
Tabla 6 Master Plan de la estructura-pisos superiores de la obra	35
Tabla 7 Tren de actividades del sector AB	36
Tabla 8 Lookahead Proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517.....	37
Tabla 9 Lookahead Proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517.....	38
Tabla 10 Análisis de restricciones lookahead Proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517	39
Tabla 11 Programación de la semana 46 con los responsables de cada partida	40
Tabla 12 Programación de la semana 47 con los responsables de cada partida	40
Tabla 13 Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 44	41
Tabla 14 Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 45	42
Tabla 15 Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 46	42
Tabla 16 Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 47	43
Tabla 17 Catálogo de causas de no cumplimiento para los sectores A y B	43
Tabla 18 Resumen del PPC del proyecto	45
Tabla 19 Resumen de las causas de no cumplimiento	46
Tabla 20 Formato de medición de los TC y TNC	47

Lista de figuras

Figura 1 Enfoque tradicional de un proyecto	15
Figura 2 Modelo tradicional del vaciado de un muro	15
Figura 3 Enfoque Lean de un proyecto	16
Figura 4 Modelo Lean de la construcción de un muro	17
Figura 5 Enfoque Lean vs Enfoque tradicional.....	18
Figura 6 Herramientas aplicadas en la filosofía Lean Construction.....	19
Figura 7 Modelo general de Planificación de Proyectos usando LPS	20
Figura 8 Herramientas de Last Planner System	21
Figura 9 Tipos de restricciones en un proyecto	23
Figura 10 Ubicación del proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517	29
Figura 11 Prototipo del proyecto ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517.....	30
Figura 12 Organigrama de la obra.	30
Figura 13 Diagrama de flujo metodológico para la aplicación del sistema Last Planner	32
Figura 14 Sectorización de la planta típica para la generación de los trenes de trabajo en el Proyecto	34
Figura 15 Resumen de las 4 semanas de implementación del PPC (%).....	46
Figura 16 Nivel general de actividades. Proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”.	48
Figura 17 Nivel general de trabajo productivo en Obras en Lima año 2001	49
Figura 18 Nivel general de trabajo productivo en obras de Lima año 2006.....	49
Figura 19 Distribución del tiempo de ocupación en el trabajo contributorio	50
Figura 20 Distribución del tiempo de ocupación de los trabajos no contributorios del proyecto	51

Introducción

La industria de la construcción enfrenta numerosos desafíos y problemas que deben resolverse (Singh, 2019). En los últimos años, esta industria ha experimentado cambios significativos relacionados con la eficiencia, la gestión de recursos y, especialmente, la reducción de desperdicios en obra. En este contexto, ha surgido una metodología denominada *Lean Construction*, que busca aplicar principios de *Lean Manufacturing* en el ámbito de la construcción. *Lean Manufacturing* es un enfoque de gestión que se centra en maximizar el valor para el cliente al mismo tiempo que se minimizan los desperdicios en el proceso de producción.

En la industria de la construcción se tienen tres características que la distinguen de la manufacturera: producción en el sitio, proyectos únicos y complejos (Salem *et al.* 2006). El efecto combinado de estos tres factores es la incertidumbre, el proceso de fabricación permite reducir la incertidumbre aumentando el control sobre el proceso. En los proyectos de la construcción, existe una incertidumbre significativa durante todo el proyecto, ante esta problemática surgió la filosofía *Lean Construction* (Salem *et al.* 2006).

La filosofía *Lean Construction* se enfoca en la eliminación de actividades y procesos que no agregan valor, la optimización de la productividad y la mejora continua con el fin de entregar proyectos de construcción de alta calidad, tiempo y dentro del presupuesto. Esta metodología es innovadora y reconocida a nivel mundial, que ha transformado la forma de concebir, planificar y ejecutar proyectos de la construcción.

En la presente investigación, se describe la aplicación de ocho herramientas de Lean para planificar y controlar la partida de losa prefabricada en el proyecto "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517". Estos resultados se compararon con trabajos de investigaciones pasados, como es el caso de Morales y Galeas (2006) y Ghio (2001). Primeramente, se identificaron y describieron las herramientas aplicables a las etapas de planificación y ejecución de la partida de losa prefabricada.

En el primer capítulo, se explora a profundidad el concepto de *Lean Construction*, luego se analiza las diferencias entre el enfoque tradicional y el enfoque *Lean*. Posteriormente, se detalla los componentes y las herramientas de sistema *Last Planner System*. Se detallan un total de ocho herramientas *Lean* para planificar y controlar la ejecución de la partida losa prefabricada, entre las cuales se incluyen: sectorización, *master plan*, tren de actividades, *lookahead*, análisis de restricciones, planificación semanal, porcentaje de plan cumplido (PPC) y nivel general de actividad (NGA).

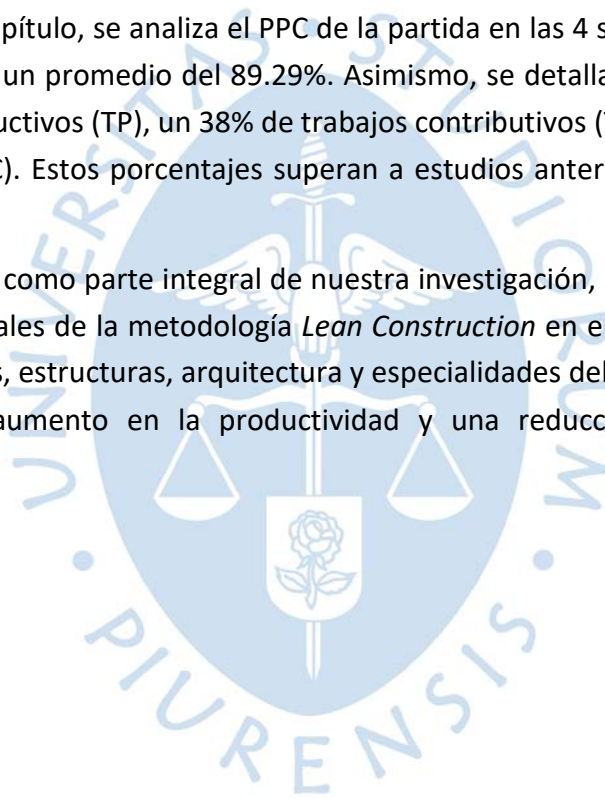
En el segundo capítulo, se describen las características del proyecto global, el cual cuenta con un contrato bajo la modalidad del sistema de contratación colaborativa *New Engineering Contract* (NEC) opción A. Además, se detallan todas las obras que involucró el proyecto global,

así como también una representación en 3D del mismo. Finalmente, se presenta el organigrama del proyecto.

En el tercer capítulo describe la metodología empleada para la planificación y ejecución de la losa prefabricada en el proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”. La metodología comienza con la sectorización previamente definida en el expediente técnico, posteriormente con el *master plan* ya elaborado por la empresa “Constructora Miraflores Perú S.A.C.” se procedió a la creación del *Lookahead*, con una programación de 4 semanas. Luego se identificó y analizó las restricciones y se asignó a los responsables. Posteriormente, se realizó la planificación semanal para determinar lo que se realizará en cada una de las 4 semanas, por último, para evaluar la productividad de la partida se evaluará el PPC y el NGA.

En el último capítulo, se analiza el PPC de la partida en las 4 semanas de ejecución de actividades, logrando un promedio del 89.29%. Asimismo, se detalla el NGA, obteniendo un 40% de trabajos productivos (TP), un 38% de trabajos contributivos (TC) y un 22% de trabajos no contributivos (TNC). Estos porcentajes superan a estudios anteriores (Morales y Galeas, 2006; Ghio, 2001).

En conclusión, como parte integral de nuestra investigación, se desarrolló y aplicó los principios fundamentales de la metodología *Lean Construction* en el proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”, lo que condujo a un aumento en la productividad y una reducción significativa de los desperdicios.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Lean Construction

Es ampliamente reconocido que el sector de la construcción desempeña un papel fundamental en el impulso del crecimiento económico de un país, ya que da lugar a la generación de numerosos puestos de trabajo. En el Perú los desperdicios en la construcción son muy altos (Ghio, 2001). Cada vez aparecen proyectos más complejos, con mayor cantidad de requisitos y con menores tiempos de ejecución. Por ello la industria de la construcción enfrenta desafíos recurrentes como sobrecostos, demoras, baja productividad y generación excesiva de residuos (Hong & Van, 2024), que disminuyen el valor al cliente.

Numerosos estudios en el sector de la construcción se han centrado en este problema, para ello han propuesto alternativas como la inteligencia artificial, *Lean Construction* y BIM (Hong & Van, 2024). *Lean Construction* es una filosofía basada en la mejora continua y el respeto por las personas, se centra en equipos que trabajen como una unidad, ofreciendo un mayor valor a los clientes y eliminando los desperdicios (Valente, 2023). Esta metodología se aplica en el sector de la construcción con el objetivo de ofrecer el máximo valor al cliente, atendiendo a sus necesidades mediante una planificación y control del proyecto cuidadosamente optimizados (Fadhil & Tanamas, 2008).

Esta metodología surgió con la intención de mejorar el nivel de producción de la industria de la construcción con su metodología de trabajo enfocada en la reducción de desperdicios a través de diferentes herramientas, siendo las más importantes el *Last Planner System*, tren de actividades, *buffers* y carta balance (Guzmán, 2014). Esta filosofía desafía la creencia tradicional de que existe un equilibrio entre el tiempo, el costo, la calidad y la seguridad. Su lema busca producir lo correcto, en el momento correcto, en el lugar correcto, en la cantidad correcta y utilizando exactamente lo que se necesita (Valente, 2023).

EL concepto central de *Lean Construction* es optimizar los flujos de trabajo en la obra para agregar valor, al mismo tiempo que se eliminan los pasos que no lo aportan, lo que implica un enfoque en la reducción de los tiempos de ciclo (Fadhil & Tanamas, 2008). Esto se traduce en la eliminación de desperdicios en el proceso de construcción, lo que a su vez permite reducir los tiempos de producción y generar ciclos más rápidos. A diferencia de los proyectos tradicionales, donde los equipos se centran en las tareas y objetivos, y no en los flujos de trabajo continuos, el enfoque *Lean* fomenta la creación de valor en los flujos de trabajo (Valente, 2023). Según Porras *et al.* (2014) el objetivo de *Lean Construction* es optimizar las transformaciones al minimizar y eliminar los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra, con el fin de agregar a los productos finales.

Por ello, el error en el pensamiento tradicional radica en centrarse en las actividades de conversión y no tener en cuenta el flujo de los recursos para lograr la generación de valor.

Los desperdicios en la construcción pueden entenderse como la utilización de cualquier material que no aporta valor ni al cliente ni a la empresa. Porras *et al.* (2014) clasifica los residuos en las siguientes categorías como se muestran en la Tabla 1. Estas categorías en la gestión tradicional no se tienen en cuenta debido a que el sistema de producción actual es erróneo al considerar como un proceso de solo transformación en donde entran materiales y salen unidades productivas.

Tabla 1
Desperdicios en la producción

Desperdicios en la construcción
Defectos
Demoras
Exceso de procesado
Exceso de producción
Inventario excesivo
Transportes innecesarios
Movimiento no útil de las personas

Nota. Adaptado de Porras *et al.* (2014).

Last Planner System es una de las herramientas más útiles con las que cuenta *Lean Construction* para controlar la variabilidad en la planificación de un proyecto. Esta herramienta permite planificar y controlar los proyectos de construcción (Gastelo, 2022). Según Pons y Rubio (2019) el uso de la metodología del *Last Planner* en proyectos de construcción ha demostrado ser una excelente herramienta para alcanzar los objetivos de *Lean Construction*. Esto se debe a que maximiza la entrega de valor al cliente, mejora la productividad, reduce los desperdicios y aumenta la rentabilidad de la empresa.

De la misma forma Guzmán (2014) señala que la aplicación de las herramientas de Lean en un proyecto de construcción, especialmente la metodología de *Last Planner*, tiene buenos resultados en el proyecto, tanto en la productividad como el plazo y el costo. Estos resultados abarcan no solo mejoras en la productividad, sino también en la optimización de los plazos y una gestión más eficiente de los costos, lo que demuestra el potencial de *Lean Construction* para generar un impacto significativo en la ejecución exitosa de proyectos de construcción.

La construcción debe innovar constantemente, optimizando las actividades que generan valor a proyectos de construcción y eliminación de las actividades que no lo hacen, brindando una adaptación a las prioridades de cada cliente y minimizando problemas típicos de una gestión tradicional como serían los sobrecostos o entregas fuera de plazo.

Según Singh & Kumar (2020) las medidas clave tomadas en consideración en el sistema *Lean* son los siguientes:

- **Minimización de los residuos.** Su objetivo principal es entregar el proyecto dentro del presupuesto acordado con el cliente, el cual suele situarse por debajo del valor de mercado. Simultáneamente, se busca fomentar la innovación en todos los procesos del proyecto. La implementación de esta estrategia conlleva un aumento en el valor percibido del proyecto por parte del cliente, al mismo tiempo que se logra una reducción de los costos mediante la eliminación de desperdicios.
- **Enfoque *just-in-time*.** Enfoque también denominado “Justo a Tiempo”, cuyo propósito es asegurar la disponibilidad precisa del producto en el lugar y momento adecuado, eliminando así los desperdicios y los elementos que no añaden valor al cliente.
- **Enfoque basado en valores.** El enfoque *Lean* basa su filosofía en el respeto por las personas. Esta perspectiva no solo busca la eficiencia operativa, sino que también la importancia de cultivar el crecimiento y la capacidad de los individuos involucrados.
- **Mejora continua.** Este enfoque se centra en la minimización o eliminación de actividades que no aportan valor al proyecto. Esto se logra mediante la optimización de los recursos y la maximización de la entrega de valor al cliente. Como resultado, se ejecutan proyectos a un menor costo, con una mayor calidad y en plazos más cortos para la entrega de los entregables.
- **Sistema de Gestión de Calidad.** La calidad en el sector de la construcción está estrechamente ligada a la conformidad del proyecto entregado. La gestión de la calidad implica no solo la puesta en marcha de ideas en los procesos de aprendizaje y mejora continua, sino también la participación de los trabajadores en estos procesos.
- **Agilidad hacia el cambio requerido.** La industria de la construcción ha experimentado un cambio significativo en los procesos constructivos. Por eso es importante que los agentes de cambio manejen las diferentes herramientas y técnicas a través de las cuales se manifiesta el cambio. Entre las herramientas que forman parte del cambio y son empleadas en la actualidad, tenemos: *BIM (Lean Design)*, fabricación fuera de sitio (*Lean Supply*) y *5S (Lean Assembly)*.

1.2 Historia de Lean Construction

Lean Construction es una filosofía basada en los principios *Lean* (generar valor, entender la cadena de valor, fomentar el flujo, producir “Pull” y búsqueda de perfección) desarrollados en Toyota por Taiichi (Singh & Kumar, 2020). Inicialmente, Toyota es una empresa automotriz que ha mantenido un rendimiento constante en la industria, que implementó ciertas estrategias para satisfacer la demanda de producción de sus clientes. Una de las muchas necesidades que tenían por satisfacer era la elección de fechas con la capacidad de producción de pequeños lotes en condiciones de baja demanda, dándole la responsabilidad de dicha tarea al ingeniero Taiichi Ohno quien lideraba la producción de *Toyota* para que se pueda plantear un sistema de producción bajo estas condiciones. El planteamiento del ingeniero Taiichi fue el sistema de producción *Toyota* “TPS” el cual da como origen a la filosofía *lean production*. Este sistema buscaba producir automóviles de mejor calidad en el menor tiempo posible con el menor costo mediante la eliminación de pérdidas.

La esencia de este enfoque radicaba en la eliminación de actividades de producción que no contribuyeran al producto final. Con esta premisa, se sustentaba el sistema de producción justo a tiempo, cuyo propósito era satisfacer las necesidades del cliente al producir lo que necesitaba, cuando lo necesitaba y en las condiciones requeridas.

1.3 Modelo tradicional Vs modelo *Lean Construction*

1.3.1 Enfoque tradicional

En el contexto de la construcción, el flujo de valor se define como el proceso mediante el cual las materias primas (entradas) se transforman exclusivamente en productos (salidas) (ver Figura 1). La dirección de proyectos en este ámbito se divide en varias fases clave, que incluyen el inicio, la planificación, la ejecución, el seguimiento, el control y el cierre (Porrás *et al.*, 2014). Estas etapas son fundamentales para asegurar una gestión eficiente y efectiva de los proyectos de construcción, garantizando que se cumplan los objetivos establecidos y se optimice el flujo de valor en cada fase del proceso.

En el enfoque tradicional, se sigue un proceso que comienza con un pre-diseño, seguido por el cálculo del costo de construcción por parte de la empresa constructora en función de su experiencia, aunque el diseño aún no esté completamente definido. Finalmente, se suman los gastos generales. Según Pons (2014), la suma total proporciona un costo estimado de producción (C), al cual se le agrega el beneficio (B), obteniendo así el precio de venta al público (Z). Sin embargo, si se produce un aumento inesperado en los costos de producción, el cliente podría terminar asumiendo los costos improductivos del contratista (Pons, 2014).

Figura 1*Enfoque tradicional de un proyecto**Nota.* Adaptado de Porras *et al.* (2014)

Para ejemplificar mejor este concepto, en la Figura 1 se muestra el esquema tradicional del vaciado de un muro, donde los materiales entran al proceso, son transformados y se obtiene como producto final el muro.

Figura 2*Modelo tradicional del vaciado de un muro**Nota.* Adaptado de Porras *et al.* (2014)

Como se puede ver en la

Figura 2 el modelo tradicional muestra un flujo de transformación de materiales, donde estos (ladrillo, cemento, arena, etc.) se convierten en Muro de albañilería. Sin embargo, este flujo de trabajo no considera otras variables importantes como el transporte, la habilitación y el control, lo que puede dar lugar a problemas típicos como los siguientes.

- Poca formación y experiencia en los nuevos sistemas de gestión y planificación de proyectos.
- El control de calidad se ve limitado por la falta de implementación de métodos estadísticos que puedan garantizar la calidad al cien por ciento.
- Cumplimiento insuficiente de las medidas de seguridad.
- Omisiones de pequeños detalles y errores.
- Falta de interés en la inducción y capacitación de los trabajadores.
- Falta de coordinación entre las áreas intervinientes en las diferentes etapas del proyecto.

- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas.
- Baja productividad en comparación con otras empresas.

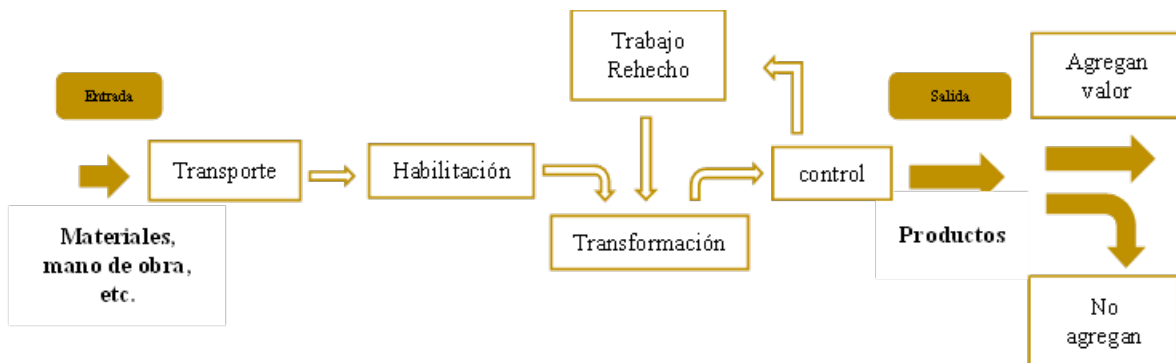
Las consecuencias esperadas de los problemas mencionados serían: sobrecostos, construcción fuera de plazo, exceso de número de accidentes laborales, exceso de materiales, reclamos hacia el área de calidad, cambio o variabilidad de condiciones del contrato inicial.

1.3.2 Enfoque Lean

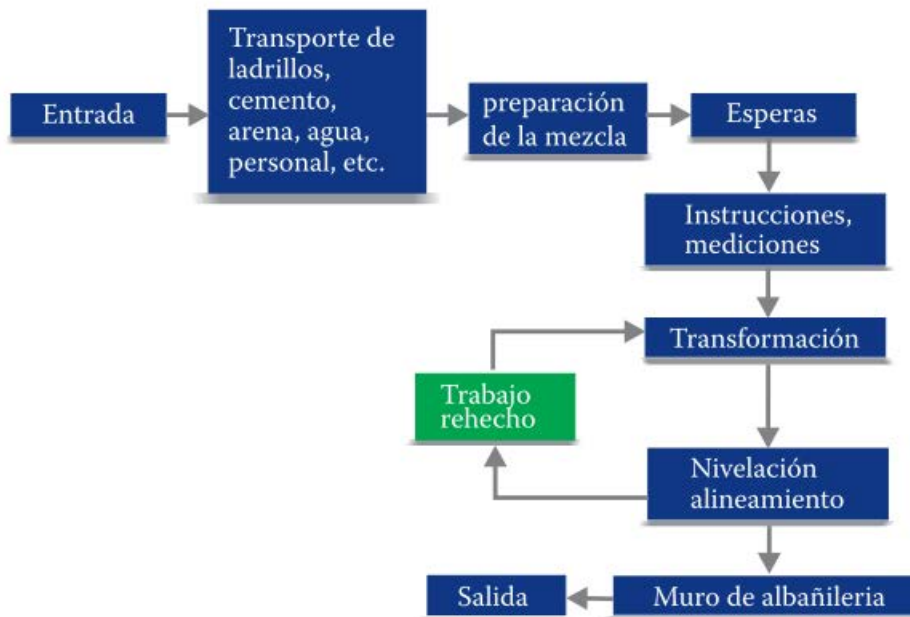
También llamado “Flujo de procesos” es un método innovador el cual busca optimizar procesos de producción y gestión en una empresa con el objetivo de eliminar actividades que no agreguen valor, así como se puede ver en la Figura 3. En el enfoque *Lean*, el precio de venta al público (Z) se calcula inicialmente en función de las características que otorgan valor al cliente y con base en su escala de valores (Pons, 2014).

Figura 3

Enfoque Lean de un proyecto

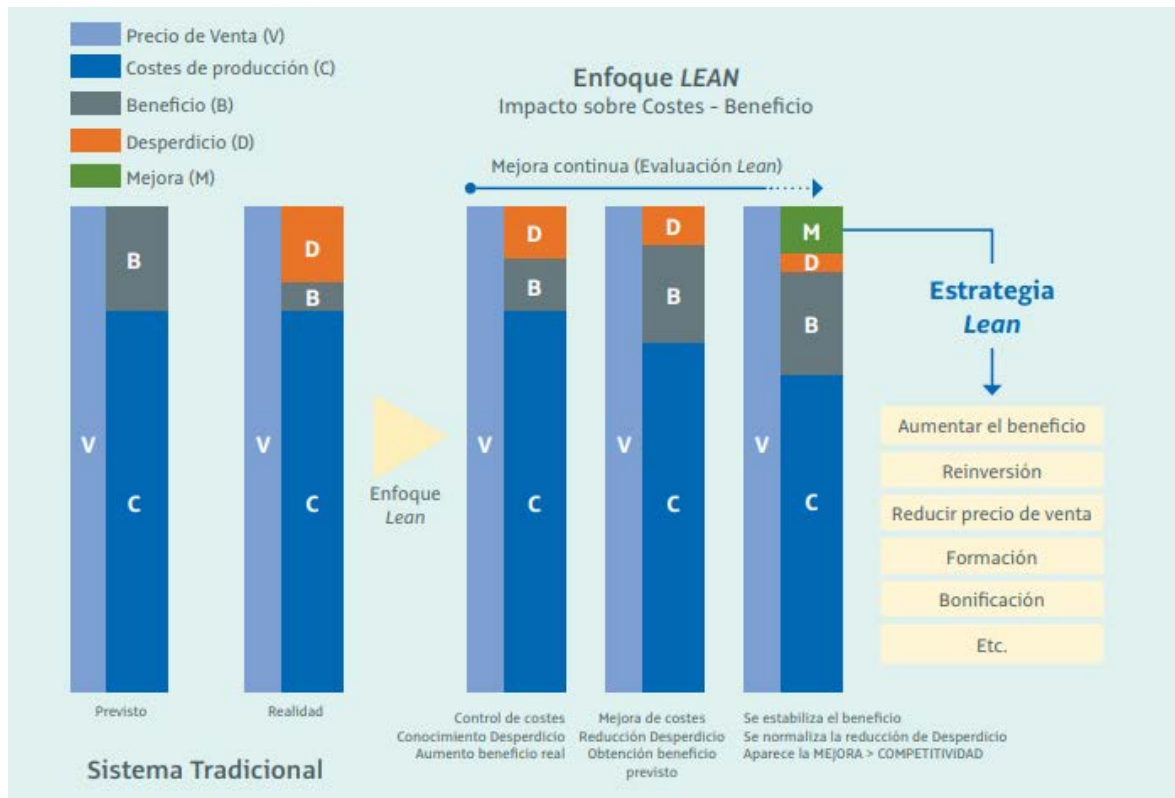


Para ejemplificar mejor este concepto, en la Figura 4 se muestra como ejemplo la construcción de un muro. Se muestran distintas etapas y procesos desde la entrada de la materia prima hasta la salida final, que es el muro de albañilería. En esta representación, se observa que la construcción del muro pasa por diferentes etapas en el proceso de construcción, donde cada una depende de la etapa anterior. Además, se destaca que, si una etapa no se realiza correctamente, el trabajo deberá repetirse.

Figura 4*Modelo Lean de la construcción de un muro*

Nota. Adaptado de Porras *et al.* (2014).

En la Figura 5, se detallan las diferencias entre el enfoque tradicional (ubicado a la izquierda del gráfico) y la metodología de *Lean Construction* (ubicada a la derecha del gráfico). En esta representación gráfica, se hace evidente que el enfoque tradicional no contempla la inclusión de la gestión de desperdicios en su planificación, mientras que el enfoque *Lean Construction* adopta una perspectiva integral, abordando la identificación y reducción de desperdicios en todas las fases del proyecto de construcción. Además, el sistema *Lean* también incorpora la noción de mejora continua a lo largo de la ejecución del proyecto.

Figura 5*Enfoque Lean vs Enfoque tradicional*

1.4 Herramientas de la Filosofía *Lean Construction*

Según Womack (1976) y Picchi (1993) entre otros autores, para poder aplicar la filosofía de *lean construction* es necesario aplicar diferentes herramientas que simplifiquen su uso y permitan llevar a cabo los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional en los diferentes proyectos. En la Figura 6 se muestra se presentan las diferentes herramientas aplicadas en la filosofía de *Lean Construction*. En la presente investigación, se empleará la herramienta *Last Planner System* para la planificación y el control del proyecto.

Figura 6

Herramientas aplicadas en la filosofía Lean Construction

HERRAMIENTAS FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION		
ASEGURAR QUE LOS FLUJOS NO PAREN	LOGRAR FLUJOS EFICIENTES	LOGRAR PROCESOS EFICIENTES
Last Planner System	Tren de actividades	Las líneas balance
Las 5s		Las cartas balance
Los Buffer		Las caminatas Gemba
Tableros Kanban		

1.4.1 Last Planner System(LPS)

Last Planner System o Sistema de último Planificador, es una herramienta de control de producción que abarca el proceso de planificación, programación y control de proyectos (Guzmán, 2014). El término "Último Planificador" se refiere a las personas dentro del equipo encargadas de llevar a cabo la última tarea dentro del trabajo asignado, además de garantizar que cuenten con los materiales, equipos e información necesarios para completar dicha tarea (Gastelo, 2022).

Según Ballard (2000), las tareas se dividen en tres categorías: deben hacerse, pueden hacerse y se harán. Esta clasificación refleja el nivel de planificación de la siguiente manera: la planificación maestra indica qué debe realizarse, la planificación intermedia prepara el trabajo a realizar y revisa las restricciones, mientras que la planificación semanal programa una serie de actividades que pueden ejecutarse comprometiéndose con el cronograma. En la Figura 7, se resume el modelo de planificación usando *Last Planner System*.

Figura 7

Modelo general de Planificación de Proyectos usando LPS



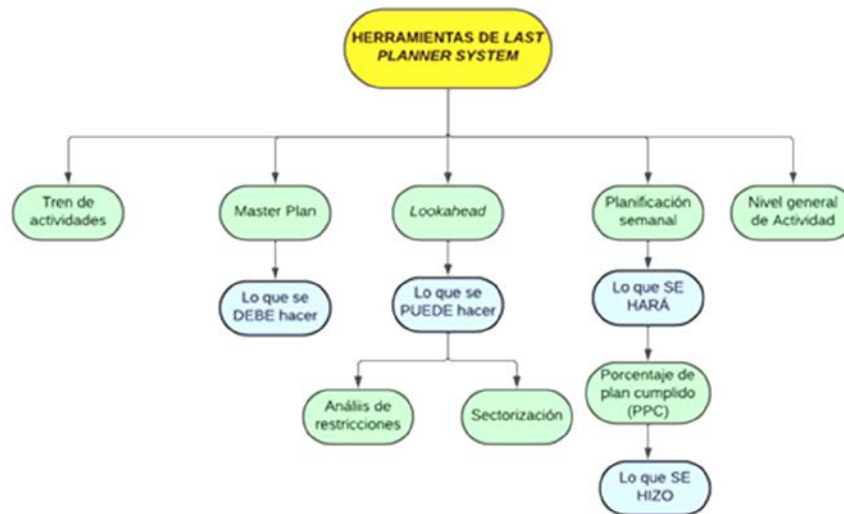
Nota. Adaptado de Pons (2014).

El sistema de *Last Planner* nace para contrarrestar las fallas del sistema tradicional (Gastelo, 2022). Esta herramienta se desarrolló para planificar y controlar la productividad en proyectos de construcción. Dentro de esta herramienta se encuentra la planificación maestra, el *Lookahead*, la planificación semanal y las causas de no cumplimiento. El sistema *Last Planner System* tiene tres componentes principales, que se detallan a continuación:

- **Planificación anticipada.** La planificación anticipada busca garantizar la identificación temprana de los problemas, aquellos problemas que no puedan resolverse durante la planificación no se impondrán en la ejecución del proyecto (diseño, fabricación y construcción). Esto, permite eliminar a tiempo las restricciones.
- **Compromiso con la planificación.** Los compromisos se miden empleando el porcentaje del Plan Completado (PPC), este es un indicador para ver si el trabajo se completó según lo prometido o no. El PPC permite determinar el rendimiento del proyecto e identificar las elecciones de mejora y las oportunidades de aprendizaje. Las lecciones permiten mejorar las prácticas de trabajo, procesos y sistemas del proyecto. El *last planner system (LPS)* tiene en cuenta los estándares de calidad antes de comprometer a los trabajadores con una tarea determinada, con el objetivo de disminuir la incertidumbre del proyecto. Es decir, es la capacidad de decir “no” si el pre-requisito de una tarea asignada no está completo (Pons, 2014).
- **Aprendizaje.** Semanalmente el plan de trabajo de la semana anterior es revisado para determinar cuáles con las tareas que se completaron. En caso los compromisos no se hayan cumplido se busca las razones del no cumplimiento, estas razones se analizan hasta llegar a la raíz del problema y se llevan a cabo acciones para evitar que se repitan.

El *Last Planner System* permite identificar la variabilidad en los plazos y los hitos del proyecto. Una vez que se ha completado el plan general, se procede a planificar cada hito de manera individual. Esta planificación por fases del proyecto conduce a la generación de un *Lookahead*, que abarca un periodo de 4 semanas. El uso del *Lookahead* permite al equipo garantizar que todos los recursos necesarios estén disponibles para completar el trabajo, asegurándose de que esté listo para comenzar en el momento indicado por el plan por fases. Además, el equipo elabora un plan semanal para determinar lo que se puede realizar en función de lo que es necesario hacer y lo que se ha planificado, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8
Herramientas de Last Planner System



La implementación del sistema *Last Planner System* busca transformar las actividades, buscando mayor eficiencia al eliminar aquellas que no generan valor durante el proceso constructivo en la ejecución del proyecto y obtener una mayor productividad. La productividad puede entenderse de diversas maneras, y según Guzmán (2014), se puede definir como una medida de la eficacia con la cual se gestionan los recursos para completar un proyecto específico dentro de un plazo establecido y cumpliendo con un estándar de calidad determinado.

Entre las herramientas clave que forman parte del *Last Planner System*, se encuentran:

1.4.1.1 Tren de actividades. El concepto de tren de actividades es igualmente identificado bajo los términos de programación rítmica o programación lineal, según lo señala Brioso en su estudio de 2015. Las actividades de construcción pueden considerarse análogas a los procesos llevados a cabo en las plantas industriales (Brioso, 2022).

El tren de actividades es una herramienta empleada para secuenciar las actividades de la partida que se analizará, se debe asegurar que todos los días se logre la meta establecida en el cronograma planificado. O sea, planificar actividades que vayan concatenadas como vagones, unas detrás de otras, generando una relación de dependencia y reducción de holguras, mediante la conversión de las actividades del tren en actividades críticas (Ghio, 2001). En resumen, el concepto del tren de actividades es fundamental para la optimización de la planificación y la ejecución eficiente de proyectos de construcción.

1.4.1.2 Master Plan. La planificación maestra o el *master plan* es la herramienta que representa el nivel más alto del sistema de planificación (Delgado, 2019). O sea, abarca todas las actividades que se necesitan para poder ejecutar el proyecto planificándolo por hitos (inicio de proyecto, fin del proyecto, etc.) los cuales son acontecimientos de gran relevancia y fechas tentativas de control, por lo cual no debe ser una programación muy detallada.

Esta programación es la base de todo el sistema de *Last Planner System*, debido a que se desprenden las programaciones de mediano y corto plazo; por ello, es importante que se realice teniendo en cuenta el desempeño real de la empresa en obra. Posterior a la elaboración de la planificación maestra, se elabora la planificación intermedia o *Lookahead*.

1.4.1.3 Lookahead o planificación intermedia. El lookahead es una programación intermedia de sistema de Last Planner System entre la planificación maestra de obra y planificación operacional semanal (Brioso, 2022). Esta herramienta está enfocada en el control de la mano de obra, materiales, equipos, información y dinero, de tal forma que la planificación se haga en función de las actividades posibles (Ghio, 2001). La duración de esta programación depende principalmente de dos factores, el horizonte máximo de la variabilidad para el proyecto y el tiempo mínimo en el que se pueden levantar las restricciones. Esta planificación, tiene un horizonte que depende de la duración del proyecto, normalmente en edificaciones suele ser de 2 a 8 semanas, según la complejidad del proyecto (Brioso, 2015).

El *planner* con los colaboradores de cada área se reúnen para la elaboración del *lookahead* de 4 semanas, este sistema funciona como una lista de verificación, con el cual se comprueba que las actividades planificadas cuenten con los recursos necesarios.

1.4.1.3.1 Análisis de restricciones. El análisis de restricciones implica la identificación de los recursos o elementos que no hacen falta para iniciar cualquier actividad planificada en el *lookahead* (Gastelo, 2022). Esta herramienta permite llevar un registro detallado de las restricciones, para gestionar su liberación de forma más eficaz. Según Brioso (2015) las restricciones que se dan en construcción son los materiales, mano de obra, equipos, seguridad, tarea previa, zonas de trabajo y condiciones externas (ver Figura 9).

Figura 9*Tipos de restricciones en un proyecto**Nota.* Adaptado de Brioso (2015).

Además, es posible conceptualizar las restricciones como los requisitos previos indispensables para la ejecución de una actividad, cuya omisión podría resultar en interrupciones en el flujo de trabajo (Brioso, 2015). Un aspecto fundamental en este proceso radica en la asignación de una fecha concreta para la eliminación de las restricciones, lo cual se alinea perfectamente con la filosofía *Lean*. Esta filosofía, orientada a la formación de líderes y la consecución de objetivos compartidos, resalta la importancia de la gestión eficiente de las restricciones como un componente vital en la búsqueda de la excelencia operativa.

1.4.1.3.2 Sectorización. El proceso de sectorización implica la subdivisión del área de trabajo en actividades más pequeñas y equitativas (Gastelo, 2022), de tal forma que las cuadrillas efectúen actividades repetitivas, mejorando la curva de aprendizaje. La curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación entre el tiempo de producción por unidad y el de unidades producidas. La sectorización parte de tener los metrados listos, posteriormente se propone un número tentativo de sectores. Es decir, las cuadrillas deben estar balanceadas diariamente con el mismo metrado (un sector por día) por cada actividad, sin holguras ni pérdidas (Ghio, 2001).

El número de sectores depende de la envergadura del proyecto, en caso se tenga un proyecto complejo, es necesario descomponerlos en componentes más pequeños y analizar cada uno de ellos de manera más detallada y simplificada (Guzmán, 2014; Zambrano, 1998). En base a estos factores se propone un número tentativo de sectores y se calcula el metrado correspondiente a cada sector, en caso se haya cumplido con las condiciones anteriores se procede a dibujar los sectores en un Excel o en AutoCAD, en esta etapa debemos darle una secuencia y un orden lógico a la sectorización realizada. En esta etapa se busca que los metrados de los sectores sean lo más similares posibles, debido a que es imposible obtener el mismo metrado en todos los sectores.

El ajuste en los sectores se lleva a cabo considerando las partidas de mayor influencia o su nivel de participación, tales como el vaciado horizontal, el encofrado de elementos verticales y el encofrado horizontal (Brioso, 2015; Guzmán, 2014). Una vez realizado este ajuste, se procede a revisar que el metrado de los sectores sean muy parecido entre sí, y se da el visto bueno se la sectorización, la cual se plasma en la plantilla de sectorización.

Para la programación maestra, se definen los hitos y se establecen los compromisos con el proyecto, siendo esta programación la base para la determinación del número de sectores. En el contexto del Proyecto de “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”, se ha incorporado el concepto de mejora continua.

1.4.1.4 Planificación semanal. La planificación semanal se basa en el plan maestro o plan general, las actividades verificadas en la lista del *Lookahead*, se detallan para que se lleven a cabo durante la semana (Guzmán, 2014). Esta planificación se realiza el sábado de la semana precedente, tomando en cuenta el avance total de la obra. La planificación semanal sirve como referencia para hacer las planificaciones diarias.

También es importante planificar el uso de los buffers o colchones (los *buffers* son alternativas para contrarrestar los efectos de variabilidad en construcción), y tareas suplentes en caso de imprevistos (Brioso, 2015; Guzmán, 2014). Esto debido a que el sector construcción existe una variabilidad interna y externa, lo que puede producir paralizaciones de las actividades de la ruta crítica, para ello debemos tener un plan de contingencia para que los trabajadores siempre tengan algo productivo a ejecutar.

Es conveniente establecer una reunión por semana con todos los involucrados del proyecto: ingenieros, supervisores, mano de obra, proyectistas, subcontratistas y personas involucradas con el proyecto (Gastelo, 2022). Esto permite tener un mayor control de las actividades planificadas semanalmente. El Porcentaje de plan cumplido es una manera de cuantificar la efectividad del plan semanal (Delgado, 2019).

1.4.1.4.1 Porcentaje de plan cumplido (PPC). El *Last Planner System* no solo es una herramienta de programación sino también de control, para lo cual se adjunta al modelo de *Last Planner System* el porcentaje de plan cumplido (PPC) (Ballard, 2000). El PPC compara el número de actividades planificadas durante la semana con el total de actividades programadas en la semana (Ghio, 2001). Es decir, compara lo que será hecho según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación. De acuerdo con Pons (2014) los proyectos medidos con PPC han demostrado tener una fiabilidad de planificación del 85%, que se compara con proyectos tradiciones, donde es de alrededor del 50%.

Para calcular el PPC es necesario tener la totalidad de las actividades que se completaron en obra, por este motivo cada actividad programada tendrá un estado de dos posibles: actividad completada o no completada (Porrás *et al.* 2014). Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{TOTAL\ ACTIVIDADES\ CUMPLIDAS}{TOTAL\ ACTIVIDADES\ PROGRAMADAS} (\%) \quad (1)$$

El PPC es un análisis de confiabilidad, no busca medir el avance sino la efectividad del sistema de programación.

1.4.1.5 Nivel General de Actividad (NGA). Consiste en una serie de mediciones en las que se especifica el tipo de trabajo que está realizando cada obrero al momento de hacer la medición (Guzmán, 2014). En un estudio llevado a cabo con trabajadores en la construcción, de acuerdo con Serpell (2002), se identificaron tres categorías principales de actividades:

- Trabajo productivo (TP). El trabajo productivo se refiere a las tareas que tienen un impacto directo e inmediato en la fabricación de una unidad de construcción, como, por ejemplo, el vertido de concreto o la colocación de ladrillos.
- Trabajo Contributorio (TC). El trabajo contributorio se refiere a labores de respaldo, que son tareas necesarias para llevar a cabo el trabajo productivo, pero que no aportan valor directamente a la unidad de construcción. Estas actividades se consideran como una forma de pérdida secundaria y deben minimizarse para mejorar la eficiencia. Ejemplos de estas tareas incluyen la transmisión de instrucciones y el transporte de materiales, entre otras.
- Trabajo No Contributorio (TNC). El trabajo no contributivo se refiere a cualquier actividad adicional realizada por el trabajador que no se clasifica en las categorías previamente mencionadas. En consecuencia, se consideran actividades redundantes, ya que carecen de esencialidad, generan costos innecesarios y no añaden valor al proceso productivo. El objetivo principal es eliminar estas actividades para mejorar la eficiencia del proceso. Ejemplos de tales actividades incluyen períodos de espera, descansos no programados y retrabajos, entre otros.

Las mediciones en campo del NGA necesitan de un trabajo previo en el cual se elabora la plantilla en todo tipo de obra.

Capítulo 2

Descripción del proyecto

2.1 Descripción del proyecto

El 6 de enero de 2021, la Autoridad de Reconstrucción con Cambios (ARCC) suscribió un contrato con la empresa "Constructora ABC" por un monto de S/. 11'752,852.42 inc. IGV. para el diseño, demolición y construcción de 15 escuelas. Este proyecto beneficiaría a más de 10 mil alumnos en diversas provincias del norte del país. Sin embargo, el primero de julio de 2022, ARCC intervino en 11 escuelas y resolvió el contrato con la empresa contratista debido a la falta de cumplimiento de los hitos contractuales. A esa fecha, solo se había completado el diseño, la demolición y parcialmente la construcción de la subestructura en algunas escuelas.

En este contexto, cuando ARCC intervino, Constructora Miraflores Perú S.A.C (CMP S.A.C) estaba desempeñando el rol de subcontratista en una de las 15 escuelas, específicamente en la Institución Educativa (I.E) 517, ubicada en el distrito 9 de octubre, Provincia de Sullana, Departamento de Piura. Con el objetivo de continuar con la ejecución del proyecto, ARCC suscribió un nuevo contrato con CMP S.A.C para completar el saldo del proyecto, con un monto de S/. 6,563,89.31. Así, dio inicio al proyecto denominado "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517".

El contrato se establece bajo la modalidad del sistema de contratación colaborativa NEC (*New Engineering Contract*) 3, opción A, adaptado al proyecto. Además, estos nuevos contratos adoptan la filosofía *lean construction* en sus proyectos.

Cuenta con obras exteriores tales como cerco perimétrico, patio de juegos, cisterna y tanque elevado que forman parte del activo "*Project Wide*". Además, la institución educativa cuenta con dos pabellones: el Pabellón uno, que alberga el área administrativa, y el Pabellón dos, destinado a las aulas estudiantiles, identificados como activos "MBR 2.1.1" y "MBR Cr 4.2.1", respectivamente (consultar Tabla 3). El Módulo Básico de Reconstrucción (MBR) fue diseñado en base a un programa estándar de los distintos niveles de instituciones educativas, desde inicial hasta secundaria. Este listado de programación fue definido por la Resolución Ministerial N°499-2018 MINEDU, en el cual se especifican los ambientes por nivel educativo de educación básica regular, además del mobiliario y equipamiento.

Tabla 3*Módulo Básico de Reconstrucción: ambientes por nivel educativo de educación básica regular*

Inicial	Primaria	Secundaria
Aula común	Aula común	Aula común
SS.HH. alumnos y alumnas ¹	SS.HH. alumnos y alumnas ¹	SS.HH. alumnos y alumnas ¹
	Aula de Innovación Pedagógica (A partir de seis secciones)	Aula de Innovación Pedagógica (a partir de 5 secciones)
Sala de usos múltiples ²	Sala de usos múltiples ² (a partir de seis secciones)	Sala de usos múltiples ² (a partir de cinco secciones)
	Centro de recursos educativos o biblioteca	Centro de recursos educativos o biblioteca
	Cafetería/ Cocina	Cafetería/Cocina
SS. HH. Docentes y administrativos	SS. HH. Docentes y administrativos	SS. HH. Docentes y administrativos
Administración ³	Administración ³	Administración ³
Espacios complementarios (Cocina, patio, áreas de juegos)	Losa deportiva techada ⁴	Losa deportiva techada ⁴
	Patio principal	Patio principal
Cerco perimétrico, mobiliario, equipamiento	Cerco perimétrico, mobiliario, equipamiento	Cerco perimétrico, mobiliario, equipamiento

¹ Se debe incluir dentro de los mismos servicios higiénicos para alumnos y alumnas con discapacidad física

² En el nivel inicial, de requerirse el espacio para actividades de psicomotricidad, este ambiente estará disponible para ese fin. En cuanto a primaria y secundaria, el espacio podrá utilizarse como Salón de Usos Múltiples (SUM), taller y/o laboratorio según sea necesario.

³ Se considera el espacio de administración en el cual se brindará el servicio de dirección, sala de profesores, etc. De acuerdo a sus necesidades, el cual podrá ser compartido entre los niveles educativos que funcionen en dicho local educativo.

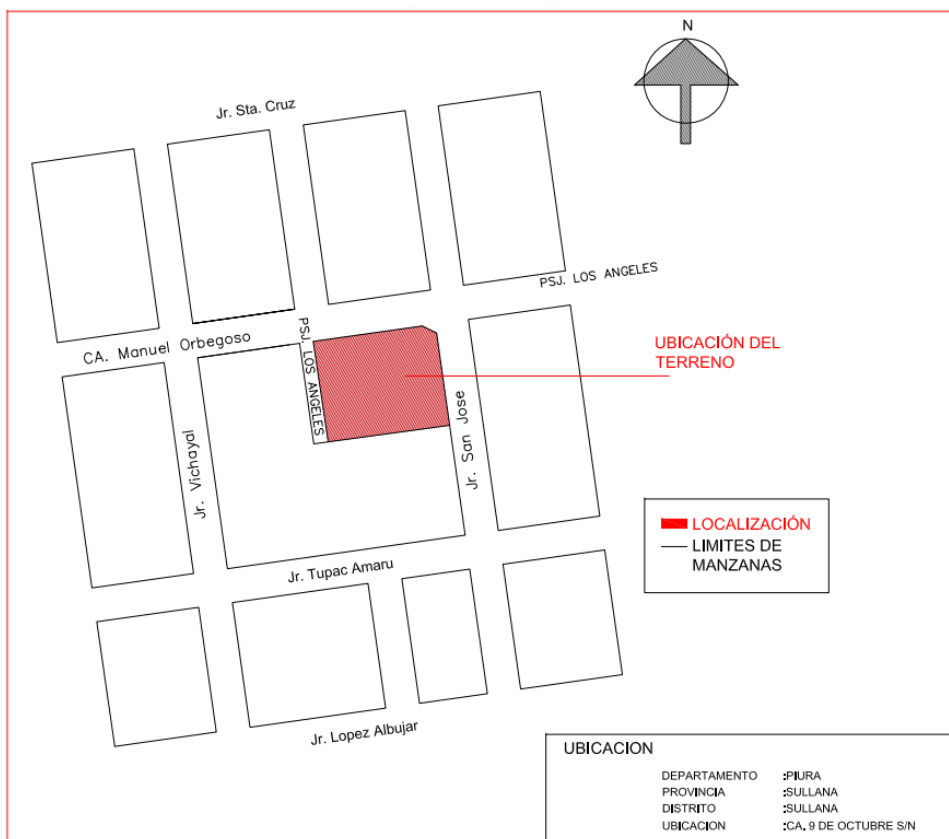
⁴ Se deberá compartir entre Primaria y Secundaria.

La I.E cuenta únicamente con nivel educativo inicial y está ubicada en un terreno de 1094 m² y abarca un área construida de 966.97 m² (Ver Figura 10) correspondiente a los activos “MBR 2.1.1” y “MBR Cr 4.2.1”. Según el plan inicial, se estipula una duración contractual de 145 días calendario, que comprende desde el inicio de la ejecución hasta la culminación del comisionamiento.

Finalmente, la obra ha sido entregada cumpliendo con los entregables establecidos.

Figura 10

Ubicación del proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517



En la Figura 11 se muestra el proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”. Se puede ver una vista 3D del proyecto.

Figura 11

Prototipo del proyecto ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517

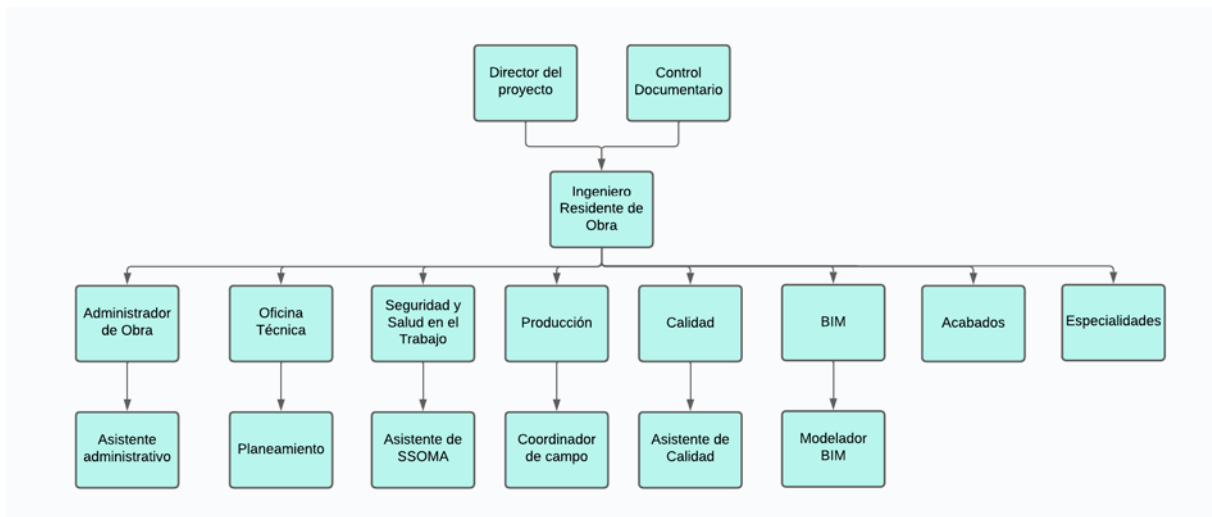


2.2 Organigrama del proyecto

En la Figura 12 se muestra el organigrama del proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”.

Figura 12

Organigrama de la obra.



Nota. Adaptado de Constructora Miraflores Perú S.A.C. (2022).

Capítulo 3

Metodología

Se realizó una evaluación de las herramientas de *Lean* aplicadas en la I.E N° 517. Usando el sistema del último planificador (LPS), originalmente desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell desde mediados de los años 90, posteriormente teorizado en la Tesis doctoral de Glenn Ballard del año 2000 (Pons & Rubio, 2019). El LPS consiste en una serie de conceptos, métodos, herramientas, técnicas y procedimientos para la toma de decisiones con el objetivo de ejecutar proyectos de construcción sin pérdidas (Brioso, 2015). Se emplea a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición del proyecto, el diseño, el suministro, ejecución y mantenimiento de la edificación (Pons, 2014).

Las mediciones del proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”, se realizaron en un periodo de 4 semanas, específicamente durante la etapa de estructura-pisos superiores, desde el 02/11/2022 hasta el 26/11/2022. En la Tabla 4 se muestra las herramientas de planificación y control de producción disponibles de la filosofía *Lean Construction* que se aplicaron en la partida de losa prefabricada del proyecto. Solo se analizó esta partida como referencia para los trabajos posteriores. Esta metodología se empleó en todo el proyecto debido a que los contratos NEC adoptan la filosofía *Lean Construction* en todos sus proyectos.

Tabla 4

Herramientas disponibles y aplicadas en la filosofía Lean Construction

LPS	HERRAMIENTA	FUENTE	APLICADO
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PRODUCCIÓN	SECTORIZACIÓN	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	MASTER PLAN	Grupo internacional de <i>Lean Construction</i>	SI
	TREN DE ACTIVIDADES	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	LOOKAHEAD	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	PLANIFICACIÓN SEMANAL	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI
	NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD	Glenn Ballard y Greg Howell (2004)	SI

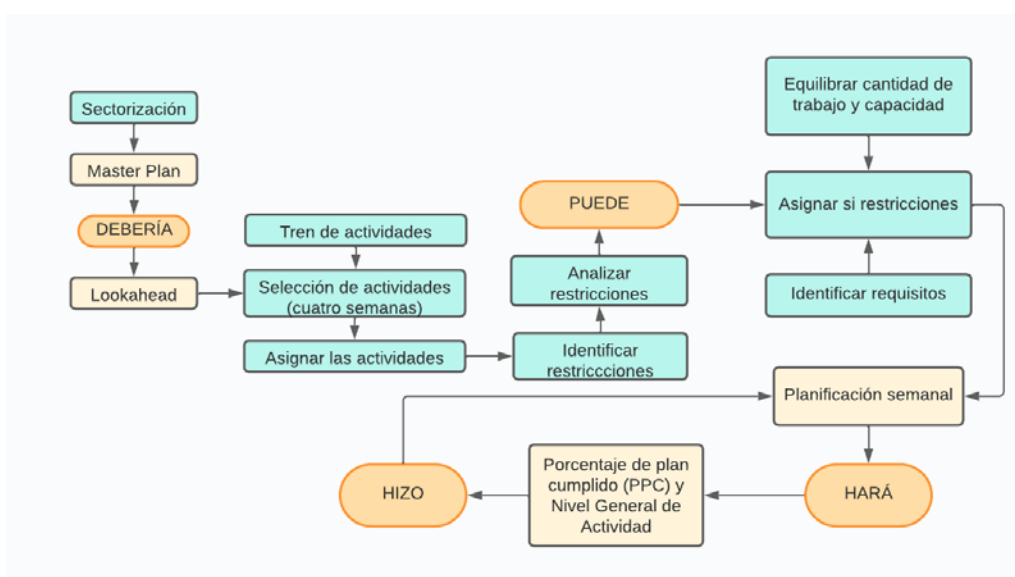
Nota. Adaptado Guzmán (2014)

En la Figura 13 se presenta el esquema metodológico de la aplicación del *Last Planner System*. Como se puede apreciar, se inicia con la sectorización, previamente definida en el expediente técnico del proyecto. Posteriormente, con el *master plan* ya elaborado por la empresa “Constructora Miraflores Perú S.A.C.”, se procedió a la creación del *lookahead*, que abarca una programación de 4 semanas.

Después de establecer el *lookahead*, se lleva a cabo la asignación de actividades, donde se identifican y analizan las restricciones del proyecto para poder asignar un responsable a cada actividad. Es importante considerar el equilibrio en el trabajo y la capacidad del personal disponible al realizar estas asignaciones. Además, se fijan los requisitos del proyecto para garantizar su cumplimiento. Posteriormente, se lleva a cabo la planificación semanal, donde se determina qué actividades se realizarán en cada una de las 4 semanas planificadas. El rendimiento del proyecto en estas semanas se evalúa mediante el porcentaje de plan cumplido y el nivel general de actividad, lo que permite realizar un seguimiento preciso del progreso y la productividad del proyecto en cada etapa.

Figura 13

Diagrama de flujo metodológico para la aplicación del sistema Last Planner



Nota. Adaptado de Orihuela y Ulloa (2011).

3.1 Sectorización

Para el proceso de sectorización el proyecto general se dividió en áreas pequeñas (sectores), cada uno de estos sectores comprende una parte pequeña del total de la obra. Para determinar el número de sectores del proyecto es necesario conocer el metrado total de los elementos, con el metrado se balancea el trabajo en cada uno de los sectores. El proyecto se dividió en 12 sectores debido a que ya vino especificado en el expediente técnico, en la Figura 14 se muestra la sectorización del proyecto, donde se puede apreciar la secuencialidad para las obras globales tales como cerco perimétrico, patio de juegos, cisterna, tanque elevado y los dos pabellones de la institución educativa (sector: A, B, ESC1B, C, ESC1C, D, E, F, G, H, I, J, K y L). El criterio para realizar la sectorización especificada en el expediente técnico fue que los trabajadores realicen actividades con procesos cortos y continuos, de tal forma que la curva de aprendizaje sea mayor y aumente la eficacia de los trabajadores. Además, el vaciado de los elementos verticales como horizontales debería ser parecido, así como se puede ver en la Tabla 5. En la tabla se puede notar que el volumen de concreto en los elementos verticales en el mismo para los sectores A, B, C y D. En el caso de los elementos horizontales el sector A y el sector B cuentan con cantidades de concreto muy cercanas (63.75 m^3 y 59 m^3 , respectivamente). De manera similar, se aprecia que tanto el sector C como el sector D cuentan con cantidades muy similares de concreto, siendo 33.93 m^3 y 32.52 m^3 respectivamente.

Tabla 5

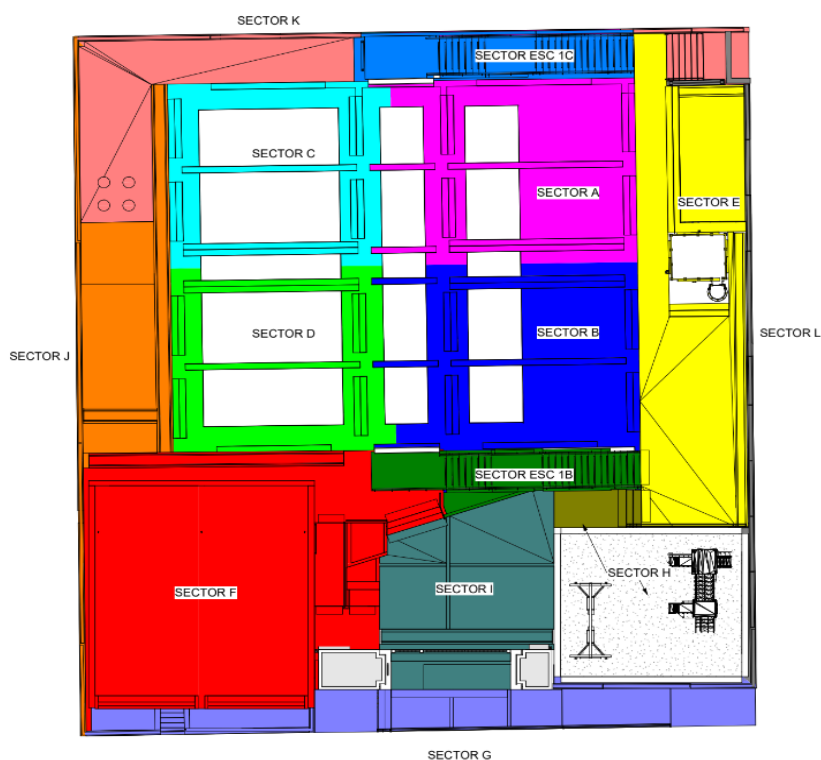
Volumen de concreto para los elementos verticales y horizontales del sector A, B, C y D

Sector/Volumen concreto	Elementos horizontales	Elementos Verticales
Sector A	63.75 m^3	26.66 m^3
Sector B	59 m^3	26.66 m^3
Sector C	33.93 m^3	26.66 m^3
Sector D	32.52 m^3	26.66 m^3

Debido a los criterios explicados anteriormente, en obra se emplearon los sectores que previamente ya fueron especificados en el expediente técnico.

Figura 14

Sectorización de la planta típica para la generación de los trenes de trabajo en el Proyecto



En el contexto de este estudio de investigación, se realizará un análisis detallado de la construcción de una losa prefabricada en los sectores A y B. En estos sectores, las cuadrillas ejecutaron la misma cantidad de trabajo, lo que generó una actividad repetitiva. Por consiguiente, se procedió a elaborar un tren de actividades con el fin de secuenciar las tareas y minimizar los tiempos muertos.

3.2 Master plan

El *master plan* guarda similitud con la planificación general de obra que se realiza de manera tradicional. Para llevar a cabo esta planificación, es crucial establecer los hitos del proyecto. En esta etapa, se trabaja a nivel de grupos de actividades y se elabora una programación para la estructura de pisos superiores del proyecto. Como se observa en la Tabla 6, se presenta la programación elaborada por la empresa "Constructora Miraflores Perú S.A.C." de manera agrupada y por partidas de forma general. Es evidente que, para la estructura de pisos superiores del proyecto, se identifican siete partidas generales que se consideran como hitos principales. La partida analizada de la losa prefabricada forma parte de las partidas de pisos superiores y techo, y se detallará posteriormente en el *lookahead* y la programación semanal.

Tabla 6*Master Plan de la estructura-pisos superiores de la obra*

ACTIVIDAD	SEMANA			
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Estructura				
Pisos superiores				
Techo				
Escalera y rampa				
Muros externos				
Paredes internas y tabiques				
Ventanas y puertas externas				

Nota. Adaptado de Constructora Miraflores Perú S.A.C. (2022).

3.3 Tren de actividades

Esta herramienta se complementa con la sectorización, donde se establece una secuencia de las partidas que están interconectadas entre sí. Una característica distintiva del tren de actividades es que considera una estación de trabajo donde todos los procesos se convierten en cuellos de botella, lo que implica que todas las cuadrillas produzcan al mismo ritmo y con la misma cantidad de recursos empleados, convirtiendo así todas las actividades en críticas. En la Tabla 7 se muestra el tren de actividades para la estructura de pisos superiores en los sectores A y B del proyecto "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517". Es evidente la secuencia de trabajo, que comienza con el encofrado del fondo y los costados de las vigas, seguido por la colocación del acero. Posteriormente se instalan la vigueta, la bovedilla y las instalaciones eléctricas y sanitarias, para luego proceder con el vertido de concreto en vigas y losas. Finalmente, se lleva a cabo el proceso de desencofrado de la losa prefabricada.

Tabla 7*Tren de actividades del sector AB*

TREN DE ACTIVIDADES DEL SECTOR AB						
SUPERESTRUCTURA						
ENCOFRADO EN FONDO DE VIGAS	1A	1B				
ENCOFRADO COSTADO DE VIGAS	1A	1B				
ENCOFRADO DE LOSA PREFABRICADA	1A	1B				
ACERO DE VIGAS		1A	1B			
COLOCACIÓN DE VIGUETA PREFABRICADA		1A	1B			
COLOCACIÓN DE BOVEDILLA			1A	1B		
INSTALACIONES ELÉCTRICAS				1A	1B	
INSTALACIONES SANITARIAS				1A	1B	
ACERO LOSA PREFABRICADA				1A	1B	
CONCRETO EN VIGAS					1A	1B
CONCRETO EN LOSAS					1A	1B
DESENCOFRADO EN VIGAS						1A 1B
DESENCOFRADO EN LOSAS						1A 1B

La implementación del tren de actividades en la obra tiene como objetivo principal realizar un trabajo repetitivo para obtener una curva de aprendizaje. Esto no solo permite mejorar la productividad, sino que también contribuye a reducir los costos del proyecto, lo que en última instancia aumenta la satisfacción del cliente a un menor costo. Además, la curva de aprendizaje facilita la toma de decisiones de manera más efectiva y menos costosa (Pons, 2014). En una investigación realizada por Gastelo (2022), se encontró que la curva de aprendizaje efectivamente incrementó la productividad de las cuadrillas al realizar las mismas actividades de manera repetida.

En el proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”, se implementaron trenes de actividades para todas las partidas que se llevaron a cabo en la obra. Esto se logró mediante una secuencia correlativa entre los sectores de la obra, permitiendo así que las cuadrillas avancen en sus frentes de trabajo de manera sincronizada, similar al funcionamiento de una línea de producción.

3.4 Lookahead

El *lookahead* se realizó con un horizonte de 4 semanas, lo que permitió obtener una previsión con un mes de anticipación de los recursos necesarios, como mano de obra, materiales y equipos, para la ejecución de las partidas en el proyecto. Una forma eficaz de medir la eficiencia del *lookahead* es mediante el seguimiento de los porcentajes de cumplimiento de las planificaciones semanales (Gastelo, 2022). Dado que esta planificación tiene un horizonte corto, es posible lograr un elevado porcentaje de cumplimiento, lo que contribuye al cumplimiento de los plazos totales del proyecto. Por tanto, para su elaboración en el proyecto, se consideraron los siguientes criterios:

Tabla 9

Lookahead Proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517

ACTIVIDAD		PROGRAMACION			SEMANA 46							SEMANA 47						
ITEM	DESCRIPCION	DUR.	F. INICIO	F. FIN	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	lun	mar	mié	jue	vie	sáb		
					14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26		
01	PABELLONES MODULARES	55	17-Oct-22	10-Dic-22														
01.01	ESTRUCTURA	168	17-Oct-22	21-Nov-22														
01.01.01	CASCO DE CONCRETO ARMADO	131	17-Oct-22	21-Nov-22														
01.01.01.01	FRENTE DE TRABAJO 1 - PABELLON 1 SECTOR AB	131	7-Nov-22	3-Dic-22														
01.01.01.01.01	PLACAS Y COLUMNAS PISO 1	37	9-Nov-22	25-Nov-22														
01.01.01.01.01.01	Trazo y replanteo de placas y columnas	8	9-Nov-22	22-Nov-22														
01.01.01.01.01.02	Acero de columnas y placas	8	10-Nov-22	23-Nov-22														
01.01.01.01.01.03	Encofrado de columnas y placas	9	7-Nov-22	24-Nov-22														
01.01.01.01.01.04	Concreto de columnas y placas	6	7-Nov-22	24-Nov-22														
01.01.01.01.01.05	Desencofrado de columnas y placas	6	8-Nov-22	25-Nov-22														
01.01.01.01.02	TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	5	7-Nov-22	11-Nov-22														
01.01.01.01.02.01	Relleno compactado con material de préstamo	5	7-Nov-22	11-Nov-22														
01.01.01.01.03	VIGAS Y LOSAS	79	10-Nov-22	2-Dic-22														
01.01.01.01.03.01	Encofrado de fondo de vigas y losas	12	10-Nov-22	30-Nov-22														
01.01.01.01.03.02	Acero de vigas y losas	13	7-Nov-22	1-Dic-22														
01.01.01.01.03.03	Colocación de ladrillo techo / Prefabricado [T]	8	7-Nov-22	1-Dic-22														
01.01.01.01.03.04	Instalación de tuberías y cajas eléctricas en losa de techo	8	7-Nov-22	1-Dic-22														
01.01.01.01.03.05	Red de desagüe en losas	8	7-Nov-22	1-Dic-22														
01.01.01.01.03.06	Instalación de tuberías para proyector multimedia y TV	8	7-Nov-22	1-Dic-22														
01.01.01.01.03.07	Concreto de vigas y losas	8	8-Nov-22	2-Dic-22														
01.01.01.01.03.08	Desencofrado costado de vigas	8	10-Nov-22	3-Dic-22														
01.01.01.01.03.09	Desencofrado de losa de vigas y losas	6	18-Nov-22	2-Dic-22														
01.01.01.01.04	ESCALERAS	10	3-Nov-22	11-Nov-22														
01.01.01.01.04.01	Encofrado de escaleras	4	10-Nov-22	14-Nov-22														
01.01.01.01.04.02	Colocación de acero	4	14-Nov-22	15-Nov-22														
01.01.01.01.04.03	vaciado de escalera	2	16-Nov-22	17-Nov-22														

Como se puede observar en el formato, en la parte superior se muestra el número de semanas y las fechas correspondientes para cada día de la semana. En el caso analizado, se llevó a cabo el análisis del *lookahead* cada 4 semanas. Además, en la parte izquierda del formato se detallan las diferentes partidas, mientras que en el centro se presentan los códigos de los sectores.

3.5 Análisis de restricciones

En el proyecto, se llevó a cabo la organización de las restricciones en grupos según las partidas, asignando a un responsable para la eliminación de cada una de ellas. En la Tabla 10 se presenta el análisis de restricciones de los sectores A y B detectadas durante el *lookahead*. En la parte izquierda de la tabla se detallan las actividades, mientras que a la derecha se muestra la fecha de mapeo, la descripción, la fecha de propuesta para la eliminación y el responsable del levantamiento.

Para la implementación del análisis de restricciones en el proyecto, se organizaron reuniones con los diferentes especialistas, de tal forma que se designaban encargados para el levantamiento de las restricciones.

Tabla 10

Análisis de restricciones lookahead Proyecto Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517

NRO	ACTIVIDADES AFECTADAS	FECHA DE MAPEO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE LEVANTAMIENTO PROPUESTA	RESPONSABLE	FECHA DE LEVANTAMIENTO REAL	CONDICIÓN	URGENCIA	TIPO
0001	Movimiento de tierras M211, Píntico, Encofrado de elementos horizontales y verticales en MCR 421.	24-Sep-22	Los espacios reducidos crean interferencia entre las actividades en paralelo. Además, que limitan el espacio para almacenamiento de equipos claves.	20-Nov-22	ARCC		Pendiente	Crítico	EXTERNO
0002	Colocación de bovedillas y previguetas.	1-Nov-22	No desmovilización de contenedores en obra.	6-Nov-22	ARCC	14-Nov-22	Levantada	Crítico	EXTERNO
0003	Vaciado de concreto de elementos verticales del MCR 4.2.1 y muros de contención de cerco perimétrico.	13-Oct-22	Se requiere acumular un volumen mínimo diario de concreto el cual es de 24m ³ bombeado, por ese motivo existen frentes paralizados hasta que se pueda solicitar un pedido mayor o igual a 24m ³ .		DNO	11-Nov-22	Levantada	Crítico	SUBCONTRATAS
0004	Se ha identificado hasta el momento la afectación de cisterna TE. Aun se desconoce el alcance de todos los planos.	24-Sep-22	Se solicitó entrega del expediente técnico firmado y aprobado de manera formal, a través de RFI N°3 el día 24/09/2022, el RFI fue respondido el día 04/10/2022, sin embargo, los planos pudieron descargarse con fecha 11/10/2022, habiendo transcurrido 21 días.	11-Nov-22	ARCC	4-Nov-22	Levantada	Crítico	EXTERNO
0005	Falta de respuesta oportuna al los planes	18-Oct-22	El día 11/10/2022 se solicitó revisión y aprobación del PEB, el	6-Nov-22	ARCC	7/11/2022	Levantada	Crítico	EXTERNO
0006	A la fecha la subcontratista no tiene un flujo	26-Oct-22	Retraso en la aprobación de adenda de retención de fiel	6-Nov-22	ARCC	10/11/2022	Levantada	Crítico	EXTERNO
0007	Podría causar retraso en el inicio de	21-Oct-22	Retraso en respuesta y/o revisión de los planes de	12-Nov-22	ARCC	17/11/2022	Levantada	Crítico	EXTERNO

3.6 Planificación semanal

Esta planificación se basa en una estructura por hitos y en la validación de actividades a través del análisis de restricciones del "Lookahead". En este enfoque, las actividades se disponen en una secuencia de ejecución de modo que cualquier retraso en una de ellas afecta a las demás, generando un retraso en el sistema en su conjunto.

Después de establecer los "trenes de trabajo" en la sectorización, lo que potencia la eficiencia de la cuadrilla al realizar la misma actividad, se mejora la curva de aprendizaje. Cada cuadrilla se designa para completar las tareas de un sector en un día específico. Al día siguiente, pasan a ejecutar la misma tarea en el siguiente sector, y la tarea subsiguiente es abordada por una nueva cuadrilla el segundo día en el primer sector.

La duración de las actividades se calcula en función de los rendimientos estimados, y estas deben tener mediciones que reflejen los avances alcanzados en la semana. Al finalizar cada semana, se evalúa el porcentaje de plan cumplido para las actividades programadas, empleando la ecuación (1). Además, se elabora un listado de las razones por las cuales ciertas actividades programadas no se llevaron a cabo, con el fin de identificar y abordar las causas subyacentes del problema.

En la Tabla 11 se muestra la programación semanal de la semana 46, donde se detallan los responsables de cada actividad relacionada con la partida de "losa prefabricada". Es destacable que los responsables designados para estas actividades son los mismos en todas las semanas analizadas. El objetivo de asignar los mismos responsables a las actividades es mejorar la eficiencia en las partidas mediante la repetición, reduciendo así las pérdidas en el proyecto. De manera similar, se realizó la asignación de responsables para las otras semanas en el proyecto.

Es importante señalar que los responsables de las partidas permanecerán constantes; únicamente varían las partidas ejecutadas y los días de ejecución, tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 11

Programación de la semana 46 con los responsables de cada partida

ACTIVIDADES PROGRAMADAS		SEMANA 46						RESPONSABLE	
ITEM	DESCRIPCION	lun	mar	mié	jue	vie	sab		
01	PABELLONES MODULARES								
01.01	FRENTE DE TRABAJO 1- PABELLON MCR 4.2.1								
1.01.01	SECTOR AB								
01.01.01.06	VIGAS Y LOSAS								
01.01.01.06.01	Encofrado de fondo de vigas y losas	A1B	A1B					A.C.	
01.01.01.06.02	Acero de vigas y losas	A1A	A1B	A1B	A1B	A1B		M.O.	
01.01.01.06.03	Colocación de ladrillo techo / Prefabricado [T]		A1A	A1A	A1B	A1B		L.M.	
01.01.01.06.04	Instalación de tuberías y cajas eléctricas en losa de techo		A1A	A1A	A1B	A1B		A.C.	
01.01.01.06.05	Red de desagüe en losas		A1A	A1A	A1B	A1B		A.C.	
01.01.01.06.06	Instalación de tuberías para proyector multimedia y TV		A1A	A1A	A1B	A1B		L.M.	
01.01.01.06.07	Concreto de vigas y losas						A1A	A1B	M.O.
01.01.01.06.09	Desencofrado de losa de vigas y losas								

Tabla 12

Programación de la semana 47 con los responsables de cada partida

ACTIVIDADES PROGRAMADAS		SEMANA 47							RESPONSABLE
ITEM	DESCRIPCION	lun	mar	mié	jue	vie	sab	dom	
01	PABELLONES MODULARES								
01.01	FRENTE DE TRABAJO 1- PABELLON MCR 4.2.1								
1.01.01	SECTOR AB								
01.01.01.05	PLACAS Y COLUMNAS								
01.01.01.05.01	Trazo y replanteo de placas y columnas		A2A	A2A	A2B		A2B		M.O.
01.01.01.05.02	Acero de columnas y placas		A2A	A2A	A2B		A2B		L.M.
01.01.01.05.03	Encofrado de columnas y placas		A2A	A2A	A2B		A2B		A.C.
01.01.01.05.04	Concreto de columnas y placas				A2A				A.C.
01.01.01.05.05	Desencofrado de columnas y placas					A2A			L.M.
01.01.01.06	VIGAS Y LOSAS								
01.01.01.06.07	Concreto de vigas y losas	A1A	A1B						M.O.
01.01.01.06.08	Desencofrado costado de vigas		A1A	A1B					M.O.

3.7 Porcentaje de plan cumplido

Al final de cada semana, se evalúa el porcentaje de plan cumplido (PPC). Así mismo, se genera un listado de las razones por las cuales no han sido cumplidas ciertas actividades planificadas, para poder atacar las causas y eliminarlas de raíz. El propósito de este análisis es medir la eficacia de la planificación.



La plantilla específica para este propósito, presentada en la Tabla 13, se empleará para la determinación del indicador de PPC, la identificación de las causas de no cumplimiento y la proposición de acciones correctivas a lo largo del proceso de implementación. Se dispone de las partidas y sus respectivos conjuntos de actividades efectivamente llevadas a cabo durante la semana. Estas se comparan con el plan semanal previamente establecido, resultando en la obtención del PPC. Dicho indicador refleja el porcentaje de actividades ejecutadas durante la semana en relación con la planificación semanal propuesta, permitiendo así evaluar la efectividad en la consecución del plan. Este análisis es importante para hacer reajustes en la planificación de la obra.

Posteriormente, se analizan las causas de no cumplimiento, indicando si se cumplió efectivamente con lo programado. En caso de no cumplimiento, se especifica la categoría que describe la razón en la columna "TIPO". El formato está diseñado para calcular el total de marcas en las columnas "SÍ" y "NO", representando el 100%. Las actividades marcadas como "SÍ" constituyen el porcentaje cumplido en relación con lo planificado.

En el proyecto se planificaba el trabajo de lunes a sábado. En la Tabla 13, 14, 15 y 16 muestran el PPC para el proyecto en las semanas 44, 45, 46 y 47, así como las causas de no cumplimiento y las medidas correctivas correspondientes. En el caso de los sectores A y B, no se registraron causas de no cumplimiento.

Tabla 13



Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 44

		PROYECTO : CA 2111- RECONSTRUCCIÓN DEL LOCAL ESCOLAR 917 PROPIETARI : AUTORIDAD PARA LA RECONSTRUCCION CON CAMBIOS UBICACIÓN : Centro poblado de Sullana, Sullana, Piura FECHA : 06-Nov-2022	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)										
ITEM	DESCRIPCION	SEMANA 44							CUMPLI- MIENTO		ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO		
		lan	mar	mie	jue	vie	sáb	dom	SI	NO	TIPO	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
03	ESTRUCTURA	31	01	02	03	04	05						
03.01	CASCO DE CONCRETO ARMADO												
03.01.01	FRENTE DE TRABAJO 1 - PABELLON 1												
03.01.01.02	PLACAS Y COLUMNAS PISO 1												
03.01.01.02.0	Trazo y replanteo de placas y columnas			A1A	A1A	A1B	A1B	X					
03.01.01.02.0	Acero de columnas y placas				A1A	A1A	A1B	X					
03.01.01.02.0	Encofrado de columnas y placas					A1A	A1A	X					
CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACION SECTOR AB		3		Cumplidos : 3		NO Cumplidos : 0		Porcentaje de confiabilidad : 100%					

Durante la semana 44, se experimentó un índice de PPC del 100%, se puede ver que el avance se dio en el acero y encofrado de placas y columnas del primer piso.

Tabla 14



Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 45

 PROYECTO : CA 2111 - RECONSTRUCCIÓN DEL LOCAL ESCOLAR 517 PROPIETARI : AUTORIDAD PARA LA RECONSTRUCCION CON CAMBIOS UBICACIÓN : Centro poblado de Sullana, Sullana, Piura FECHA : 12-Nov-2022		PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)											
ITEM	ACTIVIDADES PROGRAMADAS DESCRIPCION	SEMANA 45						CUMPLI-MIENTO		ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO			
		14	15	16	17	18	19	SI	NO	TIPO	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS	
03	ESTRUCTURA												
3.01	CASCO DE CONCRETO ARMADO												
03.01.01	FRENTE DE TRABAJO 1 - PABELLON 1												
03.01.01.02	PLACAS Y COLUMNAS PISO 1												
03.01.01.02.01	Encofrado de columnas y placas			A1B					X				
03.01.01.02.02	Concreto de columnas y placas			A1A	A1B				X				
03.01.01.02.03	Desencofrado de columnas y placas			A1A	A1B				X				
03.01.01.04	TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA												
03.01.01.04.01	Relleno compactado con material de préstamo			A1A	A1A	A1B	A1B	A1B		X			
03.01.01.06	VIGAS Y LOSAS												
03.01.01.06.01	Encofrado de fondo de vigas y losas						A1A	A1A	A1B		X		
03.01.01.06.02	Acero de vigas y losas							A1A	A1A		X		
03.01.01.07	ESCALERAS												
03.01.01.07.01	Encofrado de escaleras						A1A	A1A	A1B		X		
CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACION SECTOR AB		7		Cumplidos : 7		NO Cumplidos : 0		Porcentaje de confiabilidad : 100%					

Durante la semana 45, se registró un índice de PPC del 100%, así mismo se evidencia que se cumplió la programación semanal, y que las actividades de placas y columnas del primer piso han sido finalizadas.

Tabla 15

Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 46

 PROYECTO : CA 2111 - RECONSTRUCCIÓN PROPIETAR : AUTORIDAD PARA LA REC UBICACIÓN : Centro poblado de Sullana, Su FECHA : 19-Nov-2022		PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC)											
ITEM	ACTIVIDADES PROGRAMADAS DESCRIPCION	SEMANA 46						CUMPLI-MIENTO		ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO			
		14	15	16	17	18	19	SI	NO	TIPO	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS	
01	PABELLONES MODULARES												
01.01	FRENTE DE TRABAJO 1- PABELLON MCR 4.2.1												
1.01.01	SECTOR AB												
01.01.01.06	VIGAS Y LOSAS												
01.01.01.06.01	Encofrado de fondo de vigas y losas			A1B	A1B				X				
01.01.01.06.02	Acero de vigas y losas			A1A	A1B	A1B	A1B		X				
01.01.01.06.03	Colocación de ladrillo techo / Prefabricado [T]			A1A	A1A	A1B	A1B		X				
01.01.01.06.04	Instalación de tuberías y cajas electricas en losa de te			A1A	A1A	A1B	A1B		X				
01.01.01.06.05	Red de desagüe en losas			A1A	A1A	A1B	A1B		X				
01.01.01.06.06	Instalación de tuberías para proyector multimedia y TV			A1A	A1A	A1B	A1B		X				
01.01.01.06.07	Concreto de vigas y losas						A1A	A1B		X	SC	El subcontratista no contó con el personal calificado para el vaciado. Se reprogramó el vaciado para la semana N° 47	Se vaciará la semana entrante N° 47
CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACION SECTOR AB		7		Cumplidos : 6		NO Cumplidos : 1		Porcentaje de confiabilidad : 86%					

Durante la semana 46, se logró un PPC del 86%, este rendimiento se vio afectado por el incumplimiento en el vaciado de losa ya que la subcontratista no contó con el personal calificado para la actividad, el mismo que en la reunión colaborativa indicó que se vaciarán en la semana 47.

Tabla 16

Porcentaje de plan cumplido (PPC) en proyecto en la semana 47

ACTIVIDADES PROGRAMADAS		SEMANA 46							CUMPLIMIENTO		ANALISIS DE INCUMPLIMIENTO	
ITEM	DESCRIPCION	lun 21	mar 22	mié 23	jue 24	vie 25	sab 26	SI	NO	TIPO	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
01	PABELLONES MODULARES											
01.01	FRENTE DE TRABAJO 1- PABELLON MCR 4.2.1											
1.01.01	SECTOR AB											
01.01.01.04.02	Encofrado											
01.01.01.04.03	Concreto en sobrecimientos											
01.01.01.04.04	Desencofrado de sobrecimientos											
01.01.01.05	PLACAS Y COLUMNAS											
01.01.01.05.01	Trazo y replanteo de placas y columnas		A2A	A2A	A2B		A2B	X				
01.01.01.05.02	Acero de columnas y placas		A2A	A2A	A2B		A2B	X				
01.01.01.05.03	Encofrado de columnas y placas		A2A	A2A	A2B		A2B	X				
01.01.01.05.04	Concreto de columnas y placas				A2A				X	LOG	DINO incumplió con despacho semanal	Se vacilará la semana entrante N°48
01.01.01.05.05	Desencofrado de columnas y placas					A2A			X	ACT-P	Actividad predecesora	Se realizará la actividad la semana entrante N° 48
01.01.01.06	VIGAS Y LOSAS											
01.01.01.06.07	Concreto de vigas y losas	A1A	A1B						X			
01.01.01.06.08	Desencofrado costado de vigas		A1A	A1B					X			
CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACION		7					5		2		Porcentaje de confiabilidad:	71%

Durante la semana 47, se alcanzó un PPC del 71%, no obstante, este resultado se vio afectado por el no cumplimiento de la empresa DINO en el despacho semanal. Como medida correctiva, se programó verter lo restante en la semana siguiente hasta culminar con la ejecución de los sectores A y B. Las causas de no cumplimiento se registraron y se dieron a conocer en las reuniones de planificación, para que se puedan tomar acciones correctivas y no se vuelvan a producir. Estas categorías se ordenaron de acuerdo con su origen, en la Tabla 17 se muestran las causas de no cumplimiento en los sectores A y B.

Tabla 17

Catálogo de causas de no cumplimiento para los sectores A y B

CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO	LOGÍSTICA (LOG)	ACTIVIDAD PREDECESORA (ACT-P)	SUBCONTRATAS (SC)
DESCRIPCIÓN	*La empresa proveedora de concreto "Dino", no cumplió con despacho semanal de cemento en obra.	*Se ha producido un retraso en las actividades predecesoras de otras partidas, debido al incumplimiento de la empresa proveedora de concreto.	*La empresa subcontratista debe contratar a personal calificado para realizar las actividades.

3.8 Nivel General de Actividad (NGA).

Para determinar el NGA se debe ubicar en una zona que se logre visualizar entre 25 a 30 trabajadores de distintas cuadrillas realizando sus trabajos en condiciones normales, luego de esto se procedió a determinar las mediciones de los obreros. Las mediciones se realizaron en intervalos de 1 minuto y 30 segundos, los cuales se llenaron en formatos entregados por la empresa “Constructora Miraflores Perú S.A.C.”, de esta forma se determina si los trabajadores realizaban TP, TC y TNC. Según Serpell (1993) para tener un nivel de confiabilidad del 95% en las mediciones se deben realizar como mínimo 384 mediciones.

En el caso del proyecto “Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517”, se llevaron a cabo un total de 391 mediciones, superando así el criterio de Serpell (1993) y asegurando una confiabilidad del 95% en los resultados obtenidos. Las mediciones específicas para la partida de losa prefabricada se detallan en el Apéndice A de este trabajo de investigación.



Capítulo 4

Discusión de resultados

En el contexto general y en lo que respecta a las estadísticas de la obra, la planificación semanal utilizando herramientas del Sistema *Last Planner System* se evaluó mediante el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC), mientras que para medir el Nivel General de Actividad (NGA) se realizó una descomposición detallada del PPC específicamente para los sectores A y B del proyecto. Además, en relación con el NGA, se presenta una exposición detallada de las tres categorías principales de trabajo: Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y Trabajo no Contributivo (TNC). Siguiendo el método descrito anteriormente, se derivaron los resultados de la implementación del proyecto, los cuales se detallan a continuación.

4.1 Porcentaje de Plan cumplido (PPC)

En la Tabla 18 se presenta el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) para los sectores A y B en distintas semanas. Durante el desarrollo del proyecto, se observó que las semanas 44, 45 y 46 se destacaron por tener el mayor cumplimiento del PPC, mientras que en la semana 47 se registró el nivel más bajo de cumplimiento del plan.

Tabla 18

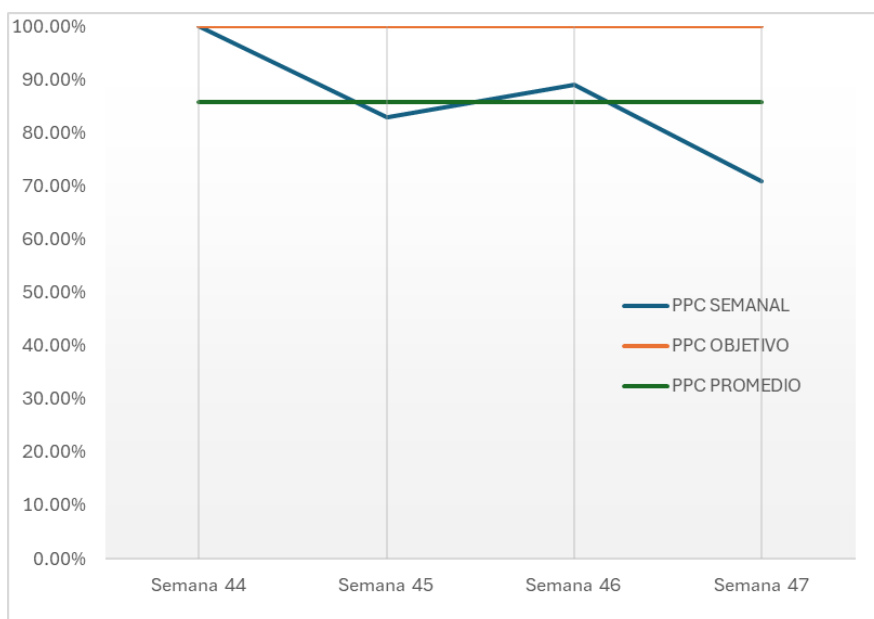
Resumen del PPC del proyecto

	Promedio Ejecución Semanal	Semana 44	Semana 45	Semana 46	Semana 47
PPC SEMANAL	89.29%	100%	100%	86%	71%
PPC OBJETIVO	100%	100%	100%	100%	100%

En la Figura 15, se observa claramente que a lo largo de las semanas 46 y 47, el porcentaje semanal está por debajo del objetivo de planificación. Además, se destaca que en la semana 44 y 45 se alcanzó el 100% del objetivo de planificación, mientras que el punto más bajo del PPC se registró en la semana 47. Esta disminución se atribuyó a una menor cantidad de actividades ejecutadas en comparación con otras semanas.

Figura 15

Resumen de las 4 semanas de implementación del PPC (%)



En la Tabla 19, se presenta un resumen de las causas de no cumplimiento, destacando que todas las categorías analizadas representan el 33.33% del total. Esto indica una equidad en las causas de incumplimiento a lo largo de la partida analizada.

Tabla 19

Resumen de las causas de no cumplimiento

CAUSA DE NO CUMPLIMIENTO	ACUMULADO %	SEMANA 44	SEMANA 45	SEMANA 46	SEMANA 47
SC La empresa subcontratista carece de personal calificado para realizar las diferentes actividades.	33.33%	-	-	1	-
LOG La empresa proveedora de concreto "Dino", no cumplió con despacho semanal de cemento en obra.	33.33%	-	-	-	1
ACT-P Se ha producido un retraso en las actividades predecesoras de otras partidas, debido al incumplimiento de la empresa proveedora de concreto.	33.33%	-	-	-	1
PORCENTAJE	100%				

La Tabla 19 muestra que durante las semanas 44, 45, 46 y 47, el 33.33% de las causas de no cumplimiento se generaron, lo que refleja una paridad en las razones detrás del incumplimiento. El PPC está vinculado al nivel general de actividad, representado por las categorías de TP, TC y TNC. Esto permite evaluar la eficiencia y productividad de las actividades que contribuyen al avance y cumplimiento de los objetivos del proyecto. En resumen, estos indicadores son fundamentales para evaluar la efectividad de las actividades de trabajo en relación con el plan establecido.

4.2 Nivel general de actividad

Durante la ejecución de las partidas, se generaba una lista detallada de los TC y TNC correspondientes a cada actividad. Sin embargo, dado el considerable número de partidas en el proyecto, resultaría complejo analizar individualmente cada actividad. Por esta razón, se decidió agrupar las actividades más relevantes para evaluar de manera eficiente los trabajos contributivos y no contributivos de la partida de losa prefabricada en el proyecto.

En la Tabla 20, se presenta el nivel de medición de los TC y TNC. Es notable que las actividades de TC superan en número a las de TNC, lo que resulta en un porcentaje global de TP mayor en la obra. Este hallazgo sugiere una mayor eficiencia y contribución positiva hacia los objetivos del proyecto por parte de las actividades consideradas como TC.

Tabla 20

Formato de medición de los TC y TNC

Trabajo contributorio	
1	Instrucciones/ Lectura de planos
2	Habilitación de material
3	Habilitación de equipos y herramientas
4	Acarreo (cuando traslado materiales)
5	Desencofrado
6	Amarrado
7	Liberación de frentes
8	Mediciones
9	Seguridad y limpieza
10	Colocado de dados de concreto

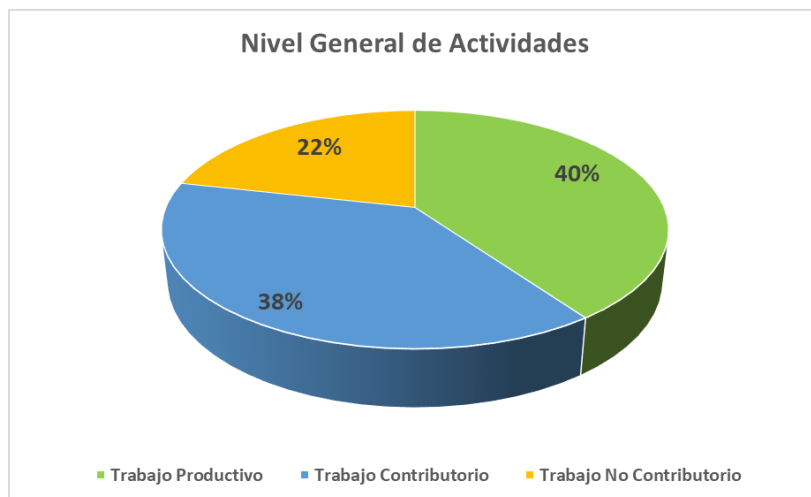
Trabajo no contributorio	
11	Esperas / Descanso
12	Viajes (buggie sin concreto, sin arena)
13	Busqueda de materiales
14	Trabajo rehecho
15	Necesidades

De las mediciones realizadas en la partida de losa prefabricada del proyecto "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517", se obtuvieron los siguientes resultados (ver Figura 16). Es importante destacar que, según Serpell (1993), se requiere un mínimo de 384 mediciones para que los resultados sean considerados válidos, un estándar que se cumplió rigurosamente en el presente estudio.

En la Figura 16, se presenta un panorama general de la partida de losa prefabricada en el proyecto. Se puede apreciar que el TC representa aproximadamente el 38% del total de las labores ejecutadas en este proyecto. Esto es revelador, ya que el TP representa el 40% del nivel general de las actividades del proyecto, siendo mayor que el TC y TNC. Esto indica un aumento en la productividad y una mejora en la curva de aprendizaje.

Figura 16

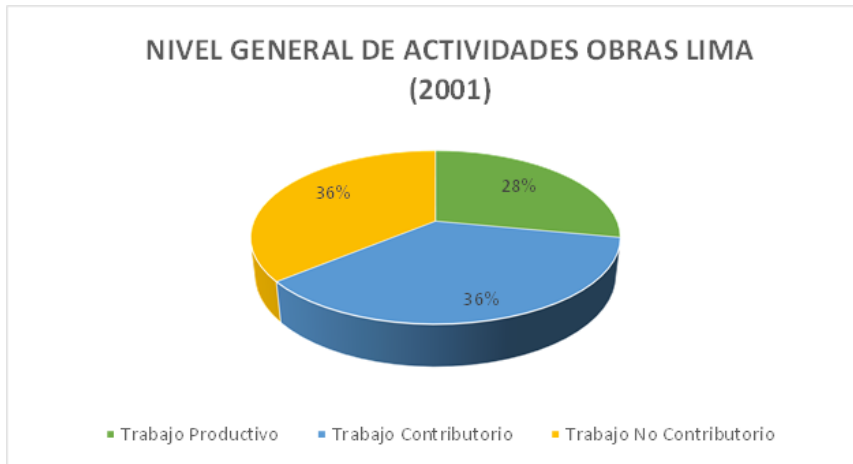
Nivel general de actividades. Proyecto "Ejecución de movimiento de tierras, estructuras, arquitectura y especialidades del local escolar N° 517".



Como se había previsto en los objetivos de nuestra investigación, uno de los propósitos fundamentales consiste en comparar los niveles de productividad con otros proyectos que han implementado la filosofía *Lean Construction*. En este contexto, se hace referencia al libro titulado "Productividad en obras de construcción: diagnóstico crítico y propuesta", escrito por el ingeniero Virgilio Ghio en el año 2001. En dicha obra, el autor llevó a cabo un estudio exhaustivo sobre el estado de la construcción en la ciudad de Lima, analizando un total de 50 proyectos en la capital. Los resultados obtenidos por el Ingeniero Virgilio se presentan en la Figura 17, donde se observa que el nivel de TP era del 28%. Este estudio resultó revelador, ya que evidenció el deficiente estado de la construcción en el país. Es importante destacar que este estudio se llevó a cabo en una época en la que apenas comenzaba a conocerse y aplicarse la filosofía *Lean Construction*.

Figura 17

Nivel general de trabajo productivo en Obras en Lima año 2001

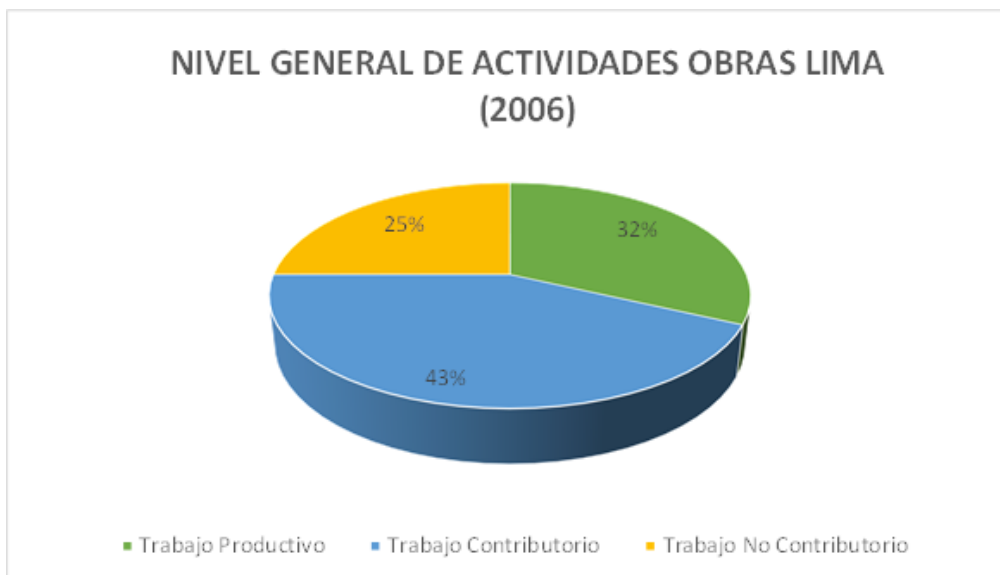


Nota. Adaptado de Ghio (2001)

Tras varios años, el concepto de Lean Construction experimentó una evolución y una creciente notoriedad en el Perú. Esta evolución condujo a una serie de mediciones en el año 2006, que incluyeron un total de 26 proyectos en la ciudad de Lima. Los resultados obtenidos revelaron una notable mejora en el sector, tal como se documentó en el estudio de Morales y Galeas (2006). La Figura 18 muestra los datos estadísticos publicados en ese mismo año, evidenciando que el porcentaje de trabajo productivo alcanzó el 32%, cifra que supera los resultados previamente obtenidos por el ingeniero Virgilio.

Figura 18

Nivel general de trabajo productivo en obras de Lima año 2006



Nota. Adaptado de Morales y Galeas (2006).

A partir de las investigaciones previas y de nuestra propia investigación, se puede observar que la implementación de las herramientas y conceptos de *Lean Construction* ha llevado a superar los promedios de eficiencia en los proyectos, aumentando considerablemente el tiempo dedicado a actividades productivas. Asimismo, se ha logrado reducir los niveles de trabajo no contributivo en comparación con el promedio de las construcciones en Perú.

4.2.1 Resultados desglosados

Al momento de la ejecución de las partidas, se generó una lista detallada de los TC y TNC correspondientes a cada partida cumplida, como se puede ver en el apéndice A. En cuanto a los resultados desglosados obtenidos al medir los TC, se registraron las actividades que conformaban estas labores para una estadística más detallada. En la Figura 19, se muestra las actividades con más incidencia que formaron parte del TC, como se puede ver el 45% del total del TC es ocupado por el tiempo de acarreo.

Figura 19

Distribución del tiempo de ocupación en el trabajo contributorio



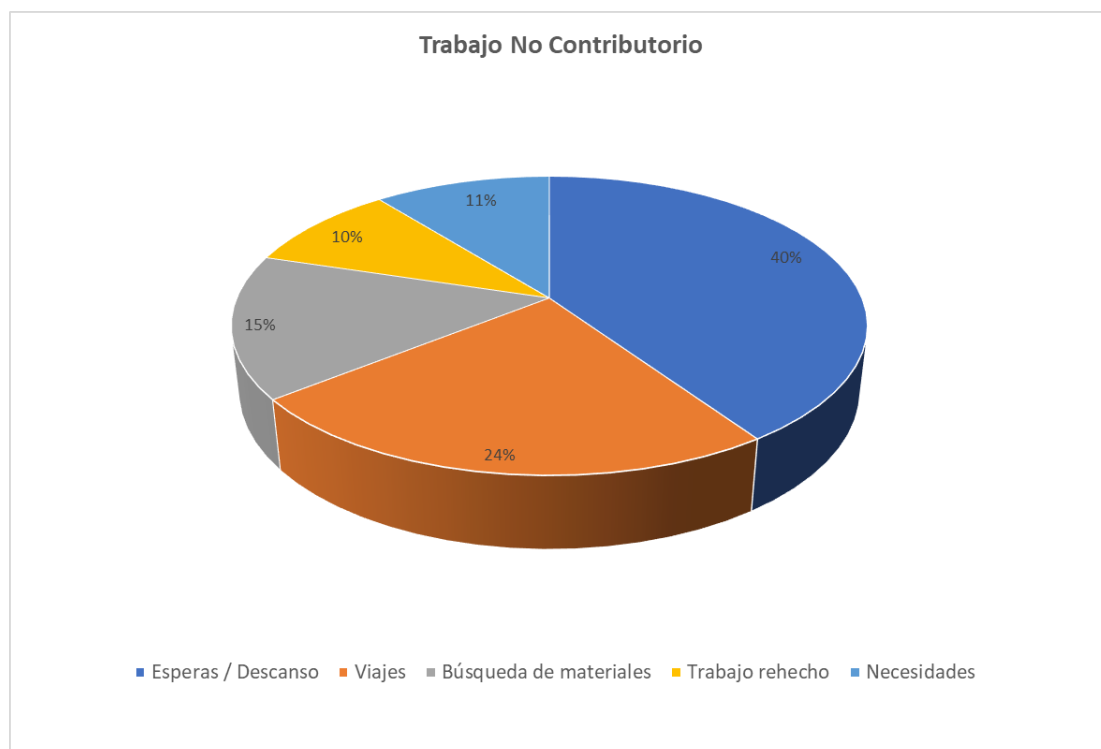
Nota. Adaptado de Guzmán (2014).

Con los resultados presentados en la Figura 19, se puede ver los puntos a mejorar y las actividades que tenemos que mejorar para reducir las pérdidas de los TC. Las actividades de los TC son necesarias para ejecutar el trabajo, sin embargo, no aportan valor a la entrega del producto. En la Figura 20, se muestra la distribución del tiempo de ocupación entre los TNC, como se puede ver las esperas y descanso representan el 40% del TNC. Así mismo, los trabajos rehechos con un 10% representan los TNC con menor incidencia.

En cuanto a los TC, los esfuerzos de mejora estuvieron enfocados en la optimización de la planificación y la comunicación. Se implementaron medidas como la optimización de la ruta de transporte de materiales para minimizar las demoras, y la coordinación precisa del proceso de desencofrado para evitar interferencias con otras tareas. Por otro lado, para reducir los TNC, se llevó a cabo una redistribución eficiente de los sectores en el proyecto, con el propósito de disminuir las esperas, los viajes y las búsquedas de materiales. Esta mejora se alcanzó mediante una comunicación más efectiva entre los distintos actores del proyecto. Como resultado de estas acciones, se logró disminuir el porcentaje de TNC y se redujo la necesidad de retrabajos gracias a una mejor coordinación entre todos los involucrados.

Figura 20

Distribución del tiempo de ocupación de los trabajos no contributorios del proyecto



Conclusiones

La implementación de la filosofía *Lean Construction*, específicamente la herramienta *Last Planner System* permitió tener resultados satisfactorios, evidenciándose en las mejoras significativas de la productividad. Sin embargo, el éxito de esta metodología depende de su correcta aplicación.

La implementación de la metodología *Lean* en los proyectos trae mejoras significativas en lo concerniente a los TP y los TNC, debido a que aumenta la eficiencia y productividad en general.

El TP obtenido en el proyecto del 40%, está por encima del rango obtenido en proyectos de Lima, como es el caso de los estudios de Ghio en el año 2001, obteniendo un 28% y el estudio de Morales y Galeas en 2006, obteniendo un 32%.

Los resultados en la partida de losa prefabricada respaldan la eficacia de la herramienta *Last Planner System* en proyectos de construcción, aumentando el TP en el proyecto. Esto se ve respaldado en el PPC en las diferentes semanas analizadas.



Recomendaciones

Se recomienda la implementación de la herramienta *Last Planner System* y otras herramientas *Lean* en la ejecución de proyectos, con resultados satisfactorios observados en la partida de losa prefabricada. Estas herramientas pueden aumentar la productividad, permitiendo comparaciones precisas y promoviendo la excelencia en la ejecución de proyectos.

Actualmente, los contratos NEC (*New Engineering Contract*) se encuentran integrados con la filosofía *Lean Construction*. En este contexto, se sugiere evaluar el impacto que los contratos NEC tienen en la gestión de proyectos contemporáneos.



Referencias

- Altertecnica (2023). *Last Planner System, la herramienta fundamental de Lean Construction*. Inmerso. Doi: <https://altertecnica.com/last-planner-system-lean-construction/#:~:text=Last%20Planner%20System%20es%20una,y%20cumplir%20plazos%20de%20entrega>.
- Brioso, M. (2015). *El análisis de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: propuesta de regulación en España y su inclusión en la Ley de la Ordenación de la edificación* [Tesis para optar el grado de doctor en ingeniería civil, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional de la UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.40250>.
- Brioso, M. (2012) Material del Curso Gestión de la Construcción sin Pérdidas, ING342 Gestión de la Construcción sin Pérdidas. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Delgado, D (2019). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la etapa de ejecución del casco estructural de la obra: Mejoramiento de los servicios de salud del Centro de Salud-4 Picota, provincia de Picota-San Martín* [Tesis para optar el grado de ingeniero civil, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional de la UNSM. <http://hdl.handle.net/11458/3786>.
- Fadhil, M. y Tanamas, C. (2001) The principles and applications of lean construction in Singapore. *Business Engineering*, 1-14, doi api.semanticscholar.org/CorpusID:14862786.
- Gastelo, E. (2022). *Implementación del sistema Last Planner en el proyecto edificio multifamiliar Kenko* [Tesis para optar el grado de ingeniero civil, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la UDEP. <https://hdl.handle.net/11042/5523>.
- Ghio, C. (2001) *Productividad en obras de construcción: Diagnóstico, crítica y propuesta*. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guzmán, A. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos* [Tesis para optar el grado de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5778>.
- Hong, P. & Van, P. (2024) Aplique EZStrobe para simular el trabajo de acabado y reducir los residuos del proceso de construcción. *Representante científico*, 14, 349, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50442-4>.
- Jiang, R. et al. (2016) Ecosystem visualization and analysis of Chinese Prefabricated Housing Industry. *Procedia Engineering*, 145(2016), 436-443, doi: [10.1016/j.proeng.2016.04.011](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.011).
- Kilpatrick, J. (2003) *Lean Principles*. Utah Manufacturing Extension Partnership. Orem, UT.

- Morales, N. y Galeas, J (2006). *Diagnóstico y evaluación de la relación entre el grado de industrialización y los sistemas de gestión con el nivel de productividad en obras de construcción* [Tesis para optar el grado de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1066>.
- Pons, F. (2014) *Introducción a Lean Construction*. 1ra ed. Fundación Laboral de la Construcción.
- Pons, F y Rubio, I. (2019) *Lean Construction y la planificación colaborativa Metodología de Last Planner System*. 1ra ed. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Pons, F y Rubio, I. (2021) *Lean Construction las 10 claves del éxito para su implantación*. 1ra ed. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Salem, M. *et al.* (2006) Lean Construction: From Theory to Implementation. *Journal of Management in Engineering*, ASCE, 22(4), 168-175, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2006\)22:4\(168\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168)).
- Serpell, A. (2002) *Administración de operaciones de construcción*. 2da ed. Editorial Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Serpell, A. (1993) Análisis de operaciones mediante cartas de balance. *Revista de Ingeniería de Construcción*, (7), 39-51, doi: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10010>.
- Singh, S. y Kumar, K. (2019) Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008-2018). *Ain Shams Engineering Journal.*, 11(2), 465-471, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.012.
- Valente, F. (2023). *What is Lean Construction*. Inmerso. Doi: <https://www.inmerso.com/blog/what-is-lean-construction-and-how-is-it-transforming-the-way-we-build#table-of-contents>
- Zambrano, L. (1998). *Administración de proyectos de construcción* [Tesis para optar el grado de ingeniero civil, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio institucional de la UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/7186>.

Apéndices



GENERAL	
Trabajo Productivo	40%
Trabajo Contributorio	38%
Trabajo No Contributorio	22%
	100.0%

Trabajo contributorio			
1	Instrucciones/ Lectura de planos	13%	19
2	Charla de ingreso	9%	13
3	Habilitación de equipos y herramientas	3%	5
4	Acarreo	45%	67
5	Seguridad y limpieza	2%	3
6	Mediciones	10%	15
7	Limpieza	2%	3
8	Colocación de dados de concreto	3%	4
9	Liberación de calidad	13%	19
10	Desenfofrado	1%	2
		100%	150

Trabajo No Contributorio			
11	Esperas / Descanso	40%	34
12	Viajes	24%	20
13	Búsqueda de materiales	15%	13
14	Trabajo rehecho	10%	8
15	Necesidades	11%	9
		100%	84

