

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



“GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS BIOCONTAMINADOS DEL HOSPITAL REGIONAL DE PUCALLPA UTILIZANDO LEAN CONSTRUCTION Y METODOLOGÍAS ÁGILES”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

AUTORES: VICTOR ALFONSO RODAS PALOMINO
WILDER VARGAS HINOSTROZA

ASESOR: Mg. JUAN NEIL MENDOZA NOLORBE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

Document Information

Analyzed document	TESIS-MAESTRIA_FORMATO_100623_2.docx (D170394182)
Submitted	2023-06-12 15:45:00
Submitted by	
Submitter email	vrodasp@gmail.com
Similarity	12%
Analysts address	fiie.posgrado.unac@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	<p>Universidad Nacional del Callao / TESIS-DISEÑO DE UN SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO COMO MEJORA DE LA RED INFORMÁTICA EN LA UNIDAD DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN ANTIDROGAS DE LA POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ.docx</p> <p>Document TESIS-DISEÑO DE UN SISTEMA DE CABLEADO ESTRUCTURADO COMO MEJORA DE LA RED INFORMÁTICA EN LA UNIDAD DE CRIMINALÍSTICA DE LA DIRECCIÓN ANTIDROGAS DE LA POLICÍA NACIONAL DEL PERÚ.docx (D159694770)</p> <p>Submitted by: posgrado.fiis@unac.pe</p> <p>Receiver: posgrado.fiis.unac@analysis.urkund.com</p>	14
	SA	<p>Universidad Nacional del Callao / Plan de tesis RODAS, VARGAS Revisado por JNMN (1) (1).docx</p> <p>Document Plan de tesis RODAS, VARGAS Revisado por JNMN (1) (1).docx (D145843384)</p> <p>Submitted by: vargashinostrozawilder@gmail.com</p> <p>Receiver: posgrado.fiee.unac@analysis.urkund.com</p>

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA TESIS

"GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS BIOCONTAMINADOS DEL HOSPITAL REGIONAL DE PUCALLPA UTILIZANDO LEAN CONSTRUCTION Y METODOLOGÍAS ÁGILES"

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

AUTORES: VICTOR ALFONSO RODAS PALOMINO WILDER VARGAS HINOSTROZA

ASESOR: Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe

Callao, 2023 PERÚ

DEDICATORIA

La presente tesis es el resultado del esfuerzo, dedicación y experiencia obtenida en nuestra área laboral, el cual ha sido gracias al apoyo incondicional de nuestros padres y familiares en cada etapa de nuestra formación profesional.

Victor Rodas Palomino

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a nuestros colegas de otras especialidades con los cuales compartimos trabajar en el Hospital de Pucallpa con quienes pudimos compartir conocimientos y experiencias y nos a servido para elaborar esta investigación.

Wilder Vargas Hinostrroza

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Ingeniería Electrónica

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: Posgrado – Facultad de Ingeniería Electrónica

TÍTULO: “GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS BIOCONTAMINADOS DEL HOSPITAL REGIONAL DE PUCALLPA UTILIZANDO LEAN CONSTRUCTION Y METODOLOGÍAS ÁGILES”

AUTORES / CÓDIGO ORCID / DNI:

Bachiller Victor Alfonso Rodas Palomino / Código ORCID: 0009-0009-6796-2718 / DNI: 42694647

Bachiller Wilder Vargas Hinostraza / Código ORCID: 0009-0003-5192-5855 / DNI: 41133364

ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI:

Juan Neil Mendoza Nolorbe / Código ORCID: 0000-0001-6714-5640 / DNI: 25760992

LUGAR DE EJECUCIÓN: Hospital Regional de Pucallpa

UNIDAD DE ANÁLISIS: Mejora de la productividad mediante el uso de Lean Construction y metodologías ágiles en la instalación de una Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Investigación de tipo aplicada, cuantitativo y diseño experimental

TEMA OCDE

2.04.1 Ingeniería Electrónica

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

Dr. Abilio Bernardino Cuzcano Rivas : presidente
Dr. Fernando Mendoza Apaza : secretario
MSc. Julio Borjas Castañeda : miembro
MSc. Rusell Córdova Ruiz : miembro

Mg. Juan Neil Mendoza Nolorbe : asesor

ACTA N°: 01 – 2024

LIBRO N°: 01

FOLIO N°: 137

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de enero del 2024

DEDICATORIA

La presente tesis representa el culmen de nuestro esfuerzo, dedicación y experiencia adquirida en el ámbito laboral. Este logro ha sido posible gracias al apoyo incondicional de nuestros padres y familiares a lo largo de cada etapa de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros colegas de diversas especialidades en el Hospital de Pucallpa. Con ellos hemos tenido la oportunidad de intercambiar conocimientos y experiencias valiosas, que han sido fundamentales para la elaboración de esta investigación.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema	11
1.2.1 Problema General	11
1.2.2 Problemas específicos	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Justificación	13
1.4.6 Justificación práctica.....	14
1.5 Delimitantes de la investigación.....	14
1.5.1 Delimitación teórica	14
1.5.2 Delimitación espacial	15
1.5.3 Delimitación temporal	15
1.5.4 Delimitación económica	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1 Lean Production	17
2.2.2 Lean Construction	22
2.2.3 CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION.....	36
I. Productividad	36
II. Variabilidad:.....	37

III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	58
3.1.	Hipótesis	58
3.1.1	Hipótesis general	58
3.1.2	Hipótesis específicas.....	58
3.2.	Definición conceptual de variables	60
3.3.	Operacionalización de variables	61
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	62
4.1.	Tipo y diseño de ión	62
4.1.1	Tipo de investigación	62
4.1.2	Diseño de investigación.....	62
4.1.3	Método de la investigación	62
4.1.4	Población y muestra.....	63
4.1.5	Lugar de estudio.....	63
4.2.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	64
4.2.1	Técnica para recolección de información	64
4.2.2	Análisis y procesamiento de datos.....	64
4.2.3	Diseño de la solución	65
V.	RESULTADOS.....	66
5.1.	Descripción de la empresa.....	66
5.2.	Descripción del proyecto	66
5.3.	Sectorización.....	68
5.4.	Tren de Actividades	70
5.5.	Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel	72
5.6.	Last Planner	74
5.7.	Productividad.....	84
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96
	ANEXO N°1: Matriz de Consistencia.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Clasificación de Actividades según Lean Production.....	17
Figura 2. 2. Modelo de flujo de Procesos	18
Figura 2.3. Modelo de conversión de procesos (Ghio, 2001)	23
Figura 2.4. Modelo de flujo (Fuente: Capítulo peruano LCI).....	24
Figura 2.5. Modelo de flujo con procesos eficientes.....	25
Figura 2.6. Modelo de flujo con procesos eficientes.....	26
Figura 2.7. Lean Project Delivery System (Ballard, 2000)	27
Figura 2.8. Ferramentas del LPDS (Tesis Ines Castillo, 2014).....	32
Figura 2.9. Propuestas del IPD (Fuente: Brosio, 2014)	33
Figura 2.10. Propuestas del IPD	34
Figura 2.11. Términos de costeo asociados con TVD (Rybkowski S., 2009)....	35
Figura 2.12. Ahorro en costos compartidos por subsistemas como resultado de los ejercicios de Target Costing (Rybkowski S., 2009).....	36
Figura 2.13. Tabla de porcentajes de actividades predecesoras.....	38
Figura 2.14. Tiempo requerido para fabricación de partes de avión (T.P. Wright, 1936).....	40
Figura 2.15. Curva tiempo de ejecución Vs número de repeticiones (T.P. Wright, 1936).....	41
Figura 2.16. Curva de rendimiento Vs número de repeticiones (T.P. Wright, 1936).....	41
Figura 2.17. Comparación de lotes de producción Vs Lotes de transferencia ...	42
Figura 2.18. Ejemplo de tren de actividades en muros pantalla	43
Figura 2.19. Representación gráfica del Last Planner System (Rojas: 2005)	47
Figura 2.20. Esquema del Last Planner System (V. Ghio: 2001).....	48
Figura 2.21. Estructura fundamental del Last Planner System (Adriazola y Torres: 2004).....	49
Figura 2.22. Programa de construcción de viviendas por barras (Fuente: J. H. Loria).....	51
Figura 2.23. Programa de construcción de viviendas por líneas de balance	51
Figura 5.24. Ejemplo de sectorización (fuente propia).....	71
Figura 5.25. Programación Maestra por Hitos del proyecto.....	76
Figura 5.26. Lookahead Planning Proyecto.....	77

Figura 5.27. Lookahead de Obra Proyecto Barranco (Fuente: EASAC)	78
Figura 5.28. Análisis de Restricciones Lookahead	81
Figura 5.29. Tipos de Restricciones	82
Figura 5.30. Catalogo de Restricciones de la partida de Concreto	82
Figura 5.31. Formato de lecciones aprendidas	84
Figura 5.32. Formato de Curvas de Productividad	85
Figura 5.33. Grafico de Curvas de Productividad	85
Figura 5.34. Formato de Nivel General de Actividad NGA	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Distribución general de las categorías de trabajo en 50 obras de Lima.	10
Tabla 3.2. Operacionalización de las variables	61

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal optimizar la productividad en la instalación de una planta de tratamiento de residuos hospitalarios, situada en el Hospital Regional de Pucallpa. Este objetivo se logrará mediante la implementación de un conjunto de herramientas analíticas y técnicas especializadas para la identificación y mitigación de pérdidas operativas.

En la primera sección del documento, se elabora un marco teórico exhaustivo, seguido de la metodología que se empleará para llevar a cabo la investigación. Posteriormente, se presenta un diagnóstico del estado actual de la productividad en la instalación de la planta en cuestión.

Para evaluar el estado actual de la productividad, se utilizarán diversas herramientas analíticas, como el "Nivel General de Actividades", la "Carta de Balance" y la "Programación Lookahead". Basándonos en los resultados obtenidos, se propondrán estrategias de mejora con el fin de incrementar la eficiencia del proyecto. Este proceso de optimización se llevará a cabo en dos fases esenciales: la identificación de las pérdidas y sus causas subyacentes, seguida de la implementación de un plan de acción a corto plazo para mitigar o eliminar dichas pérdidas.

Palabras Clave: Gestión de Proyectos, Tratamiento de Residuos Hospitalarios, Planificación Estratégica, Programación de Tareas, Implementación y Control, Lean Construction, Metodologías Ágiles.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to optimise productivity in the installation of a hospital waste treatment plant, located in the Regional Hospital of Pucallpa. This objective will be achieved through the implementation of a set of analytical tools and specialised techniques for the identification and mitigation of operational losses.

In the first section of the document, a comprehensive theoretical framework is elaborated, followed by the methodology that will be used to carry out the research. Subsequently, a diagnosis of the current state of productivity in the plant facility in question is presented.

In order to assess the current state of productivity, various analytical tools will be used, such as the "General Level of Activities", the "Balance Chart" and "Lookahead Programming". Based on the results obtained, improvement strategies will be proposed in order to increase the efficiency of the project. This optimisation process will be carried out in two essential phases: the identification of losses and their underlying causes, followed by the implementation of a short-term action plan to mitigate or eliminate these losses.

Keywords: Project Management, Hospital Waste Treatment, Strategic Planning, Task Scheduling, Implementation and Control, Lean Construction, Agile Methodologies.

RESUMO

O principal objetivo desta tese é otimizar a produtividade na instalação de uma planta de tratamento de resíduos hospitalares, localizada no Hospital Regional de Pucallpa. Esse objetivo será alcançado por meio da implementação de um conjunto de ferramentas analíticas e técnicas especializadas para a identificação e mitigação de perdas operacionais.

Na primeira seção do documento, um quadro teórico abrangente é elaborado, seguido pela metodologia que será utilizada para realizar a pesquisa. Subsequentemente, é apresentado um diagnóstico do estado atual da produtividade na instalação da planta em questão.

Para avaliar o estado atual da produtividade, diversas ferramentas analíticas serão utilizadas, tais como o "Nível Geral de Atividades", o "Gráfico de Balanço" e a "Programação Previsível". Com base nos resultados obtidos, estratégias de melhoria serão propostas a fim de aumentar a eficiência do projeto. Esse processo de otimização será realizado em duas fases essenciais: a identificação de perdas e suas causas subjacentes, seguida pela implementação de um plano de ação de curto prazo para mitigar ou eliminar essas perdas.

Palavras-chave: Gestão de Projetos, Tratamento de Resíduos Hospitalares, Planejamento Estratégico, Agendamento de Tarefas, Implementação e Controle, Construção Enxuta, Metodologias Ágeis.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación, se aplicarán los principios de la filosofía Lean Construction y las Metodologías Ágiles, junto con sus respectivas herramientas, en la implementación de la Planta de Tratamiento de Residuos Hospitalarios del Hospital de Pucallpa. Para ello, se analizarán las partidas más relevantes mediante el uso de herramientas como el "Nivel General de Actividades" y la "Carta de Balance". Esto permitirá obtener gráficas de distribución del tiempo y analizar las variabilidades en la ocupación del tiempo. A partir de los resultados obtenidos, se propondrán estrategias para mejorar la productividad en construcciones de tipo hospitalario en la provincia de Pucallpa.

El primer capítulo justifica la relevancia de la tesis y plantea el problema de la productividad en Perú y, específicamente, en la provincia de Pucallpa. El segundo capítulo detalla el marco teórico, basado en antecedentes, evolución y las contribuciones que la filosofía Lean pretende aportar a los proyectos. El tercer capítulo presenta la herramienta de análisis utilizada y las partidas que serán objeto de estudio en la investigación. El cuarto capítulo expone los resultados obtenidos en relación con el nivel general de actividad de las cuadrillas, utilizando gráficos y tablas para ilustrar el nivel de productividad. El quinto capítulo plantea propuestas para mejorar la productividad del proyecto bajo el enfoque de Lean Construction. Finalmente, se presentan las conclusiones en función de los objetivos inicialmente planteados, seguidas de las referencias bibliográficas y un panel fotográfico que documenta la investigación en campo.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Dentro de las actividades productivas, la industria de la construcción se destaca como una de las más generadoras de desperdicio y con baja productividad. Entre las múltiples causas de esta situación, se encuentra la dificultad para llevar a cabo una supervisión exhaustiva de todos los procesos constructivos. Por esta razón, el tiempo no utilizado de manera eficiente tiene un impacto significativo tanto en los costos del proyecto como en los plazos de entrega.

Esta situación se refleja claramente en la Tabla N°1, donde se observa que la productividad en el sector de la construcción en Perú es apenas del 28%.

Tabla 1.1. Distribución general de las categorías de trabajo en 50 obras de Lima.

DISTRIBUCION GENERAL DE CATEGORIAS DE TRABAJO			
CATEGORIAS DE TRABAJO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
TRABAJOS PRODUCTIVOS	28%	20%	37%
CONTRIBUTIVOS	36%	35%	36%
TRABAJOS NO CONTRIBUTIVOS	36%	26%	45%
MEDICION REALIZADA EN 50 OBRAS DE LIMA			

Fuente: Virgilio Guio (2001, p.45)

Lo anteriormente mencionado es igualmente aplicable al suministro e instalación de equipamiento en la construcción de hospitales.

La filosofía Lean tiene como objetivo eliminar o reducir cualquier elemento que no aporte valor al producto final. Para lograr esto, es crucial identificar todos los desperdicios, entender sus causas y proceder a su eliminación. Al hacerlo, se incrementa la productividad y, por ende, el valor del producto.

En la empresa Enviro Andinos SAC, se ha observado que la instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados experimenta retrasos en los plazos de entrega, lo cual tiene un impacto negativo en el presupuesto. Estos retrasos son causados por diversos factores, y la presente investigación tiene como objetivo identificarlos, analizarlos y proponer soluciones para mejorar la eficiencia.

Dado que no existen estudios similares sobre la aplicación de la filosofía Lean en la instalación de equipamiento en hospitales, se espera que esta investigación sea de utilidad para quienes estén a cargo de instalaciones en hospitales en construcción a nivel nacional.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Hasta qué punto influyen la aplicación de la filosofía Lean Construction y las Metodologías Ágiles en el nivel de productividad de la instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa?

1.2.2 Problemas específicos

PE1: ¿Cuáles son los factores que afectan la productividad en la instalación de una planta de tratamiento de residuos biocontaminados?

PE2: ¿Cuál es el nivel de productividad en la instalación de una planta de tratamiento de residuos biocontaminados?

PE3: ¿Cuáles son los principales desperdicios o ineficiencias identificables en el proceso de instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados y cómo podrían mitigarse mediante Lean Construction?

PE4: ¿Cómo se podría medir el retorno de inversión (ROI) al aplicar Lean Construction y Metodologías Ágiles en la instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de la aplicación de la filosofía Lean Construction y las Metodologías Ágiles en la productividad del proceso de instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa, con el fin de identificar oportunidades de mejora y optimización.

1.3.2 Objetivos específicos

OE1: Identificar y analizar los factores que inciden en la productividad durante el proceso de instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa, con el fin de proponer estrategias de mejora basadas en la filosofía Lean Construction y las Metodologías Ágiles.

OE2: Evaluar y cuantificar el nivel de productividad en el proceso de instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa, utilizando indicadores de rendimiento y herramientas analíticas pertinentes.

OE3: Identificar los principales desperdicios o ineficiencias en el proceso de instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa y proponer estrategias de mitigación basadas en los principios de la filosofía Lean Construction.

OE4: Desarrollar un modelo de evaluación para medir el retorno de

inversión (ROI) resultante de la aplicación de la filosofía Lean Construction y las Metodologías Ágiles en el proceso de instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa.

1.4 Justificación

La presente investigación tiene como objetivo mejorar la gestión del tiempo y el manejo de recursos en la instalación de Plantas de Tratamiento de Residuos Sólidos (PTRS). Con este fin, el estudio busca demostrar los beneficios de aplicar las herramientas de la metodología Lean Construction en la instalación de una PTRS. Además, aspira a servir como material de referencia en la instalación de equipamiento hospitalario y elementos complementarios en hospitales en construcción a nivel nacional. De esta manera, las empresas contratistas contarán con una guía para la implementación de Lean Construction como parte de un nuevo modelo productivo que busca maximizar el valor para los propietarios y minimizar las pérdidas ocasionadas por una planificación deficiente del proyecto.

1.4.1 Justificación normativa

El presente trabajo de investigación reviste importancia al servir como apoyo para la instalación de plantas de tratamiento de residuos biocontaminados a nivel nacional. Además, ofrece a las empresas constructoras un marco de referencia para la implementación de herramientas Lean en la instalación de equipamiento hospitalario y elementos complementarios.

1.4.2 Justificación teórica

Esta investigación contribuirá significativamente al avance del conocimiento en la mejora de la productividad mediante la aplicación de herramientas Lean en la instalación de plantas de tratamiento de

residuos biocontaminados.

1.4.3 Justificación tecnológica

El propósito de este estudio es divulgar las ventajas de las metodologías innovadoras en los sistemas constructivos con el fin de mejorar el rendimiento en la instalación de Plantas de Tratamiento de Residuos Biocontaminados.

1.4.4 Justificación económica

Mejorar la productividad en la instalación de la Planta de Tratamiento de Residuos Biocontaminados permitirá cumplir con los plazos y presupuestos asignados.

1.4.5 Justificación social

Al mejorar la productividad en la instalación, se podrán cumplir los plazos de entrega tanto de la planta como del hospital en su conjunto, lo que permitirá mejorar la calidad de vida de la población de la ciudad de Pucallpa al evitar la contaminación y la propagación de enfermedades causadas por la inadecuada disposición de los residuos hospitalarios.

1.4.6 Justificación práctica

Este proyecto tiene como objetivo contribuir al conocimiento de colegas y profesionales de otras especialidades que participan en la instalación de equipamiento hospitalario, tales como empresas contratistas y proveedores de equipamiento.

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Delimitación teórica

En el trabajo de investigación, la delimitación teórica se basa en la ausencia de estudios previos sobre la aplicación de la metodología

Lean en la instalación de equipamiento en hospitales en construcción. Por esta razón, después de adquirir conocimientos sobre esta metodología, se procedió a adaptarla a nuestro sistema de trabajo.

1.5.2 Delimitación espacial

En cuanto a la delimitación espacial, se identificó la falta de una oficina en el sitio de la obra para procesar los datos registrados y llevar a cabo evaluaciones de cambios, así como un espacio adecuado para llevar a cabo reuniones de coordinación diaria con colegas de otras especialidades. En colaboración con el ingeniero residente, se procedió a establecer una oficina provisional con el propósito de cumplir con los objetivos mencionados anteriormente.

1.5.3 Delimitación temporal

En lo que respecta a la delimitación temporal, se identificaron dificultades en la recopilación de datos en el campo, lo que requirió la incorporación de personal adicional para llevar a cabo el registro de los datos diarios. Para no interferir con las actividades diarias, se optó por registrar datos a las 10:00 a.m., 2:00 p.m. y 4:00 p.m. dentro del horario laboral.

1.5.4 Delimitación económica

En cuanto a la delimitación económica del trabajo de investigación, es importante destacar que la aplicación de la metodología Lean surgió como una iniciativa propia. Por esta razón, los gastos asociados a la etapa de aprendizaje, que incluyeron la capacitación y la compra de libros, fueron cubiertos con recursos propios.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los primeros indicios de Lean Construction como filosofía de trabajo se originaron en Japón alrededor del año 1950 y se aplicaron en lo que se conoció como el sistema de producción Toyota (TPS, Toyota Production System), desarrollado por los ingenieros Shigeo Shingo y Taiichi Ohno. La idea central detrás del sistema de producción de Toyota era la fabricación de cantidades relativamente pequeñas de productos a un costo muy bajo, utilizando los conceptos de eliminación de desperdicio y mejora continua.

Los resultados obtenidos a través del sistema implementado por Toyota trascendieron las fronteras de Japón y se extendieron por todo el mundo. Los excelentes resultados de este sistema permitieron a Toyota ganar cuota de mercado frente a las empresas automotrices estadounidenses. A finales de los años 80, un grupo de investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) viajaron a Japón para investigar este nuevo sistema. A su regreso, lo denominaron Lean Manufacturing o Lean Production y se encargaron de difundirlo en todo el mundo.

El Lean Production es una filosofía aplicable al sector industrializado que se enfoca principalmente en reducir los principales tipos de desperdicio, como la sobreproducción, el inventario y el tiempo de espera, entre otros. Además, introduce nuevas metodologías que brindan resultados de productividad mucho mejores que los que se obtenían en esa época.

Al adentrarnos en el campo de la construcción y enfrentar los problemas comunes que esta industria presenta, como programaciones poco fiables, exceso de desperdicio y una inadecuada administración de recursos, se han realizado numerosos

esfuerzos para mejorar la gestión general de proyectos de construcción. En busca de una solución a estos problemas, el ingeniero irlandés Lauri Koskela publicó en 1992 un documento titulado 'Application of the New Production Philosophy to Construction', donde se presentan los primeros acercamientos de la filosofía del Lean Production a la construcción. Este documento sistematiza los conceptos más avanzados de la administración moderna, como el Mejoramiento Continuo y el Justo a Tiempo, que, junto con la ingeniería de métodos, reformulan los conceptos tradicionales de planificación y control de obras, proponiendo una nueva filosofía de Control de Producción en su tesis.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Lean Production

El Lean Production es un sistema que tiene como objetivo principal la eliminación o reducción al mínimo de elementos que no aporten de manera positiva en términos de recursos, tiempo, espacio u otros, con el fin de añadir valor al producto. Como es ampliamente reconocido, la esencia del Lean Production radica en añadir valor a los productos mediante la eliminación de actividades innecesarias, es decir, desperdicios.

Las actividades en un proceso de producción se pueden desglosar, como se muestra en el siguiente gráfico."

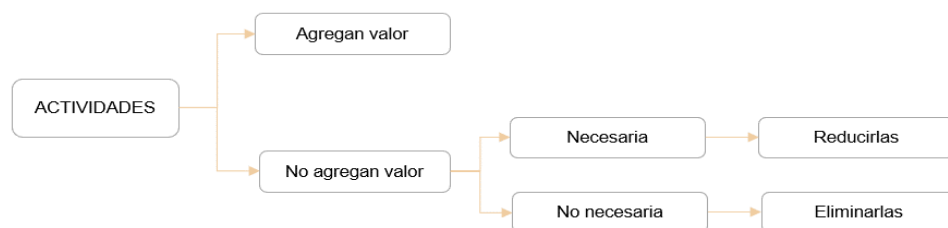


Figura 2.1. Clasificación de Actividades según Lean Production

(Fuente: Propia)

Uno de los conceptos fundamentales de la teoría Lean Production consiste en visualizar el proceso de producción como un flujo de materiales e información que se extiende desde las materias primas hasta el producto final que llegará al cliente. Este concepto se representa gráficamente en el siguiente diagrama.



Figura 2. 2. Modelo de flujo de Procesos
(Fuente: Propia)

En este gráfico, podemos observar, además del proceso de producción, las actividades que definimos en el gráfico anterior. Por ejemplo, tenemos los procesos 1 y 2, que son actividades que agregan valor al producto. También contamos con el transporte y el tiempo de espera. Estas actividades no agregan valor al producto y, por lo tanto, deben ser clasificadas como necesarias o no necesarias. El tiempo de espera es una actividad no necesaria y, por lo tanto, debe tratarse de eliminar para reducir los tiempos y minimizar las pérdidas. Por otro lado, el transporte es una actividad necesaria para el traslado de un proceso a otro y no se puede eliminar. Sin embargo, estas actividades pueden reducirse mediante una planificación adecuada, lo que también resultará en un considerable ahorro de tiempo en todo el proceso.

La nueva filosofía de producción incluye los siguientes elementos en su diseño y control de la producción:

- ❖ **Identificación de actividades que no agregan valor:** Se deben identificar y reducir, en la medida de lo posible, las actividades que no agregan valor al proyecto. Estas reducciones pueden traducirse en ahorros en costos, tiempos,

etc. Por lo tanto, identificar estas actividades es esencial para minimizar las pérdidas.

- ❖ **Incremento del valor del producto:** Los beneficios obtenidos al eliminar las pérdidas en general deben dirigirse a aumentar el valor del producto para el cliente final. Esto se logra al ponerse en la perspectiva del cliente y asegurarse de que nuestro producto cumpla e incluso supere las expectativas que tienen sobre el producto.
- ❖ **Reducción de la variabilidad:** La variabilidad afecta negativamente a todos los aspectos de la producción y también es perjudicial para el cliente. Por lo tanto, es importante reducir la variabilidad para evitar problemas en la programación y garantizar la satisfacción del cliente.
- ❖ **Reducción del tiempo del ciclo:** La reducción del tiempo de ciclo se puede lograr mediante la aplicación de la teoría de lotes de producción y lotes de transferencia. Esta teoría nos indica que si dividimos nuestra producción (lote de producción) en lotes más pequeños (lotes de transferencia) que vamos transfiriendo de un proceso a otro, el ciclo total tendrá una duración menor en comparación con la introducción de un lote completo en un proceso y esperar a que todo el paquete esté listo antes de llevarlo al siguiente proceso o actividad.
- ❖ **Simplificación de procesos:** La simplificación de procesos implica mejorar el flujo de trabajo al reducir la cantidad de procesos involucrados. Esto permite un mejor control de los procesos y ayuda a reducir la variabilidad y el costo asociado a cada proceso.
- ❖ **Incremento de la transparencia en los procesos:** Cuanto más transparente sea un proceso, mayor será la posibilidad de

inspeccionarlo para evitar errores que puedan llevar a retrabajos, los cuales representan pérdidas para el proyecto.

- ❖ **Mejoramiento continuo:** Este principio se basa en la filosofía japonesa Kaizen, que se centra en identificar las causas de incumplimiento de las actividades para abordarlas en proyectos posteriores y lograr mejoras constantes.
- ❖ **Referenciación de los procesos (Benchmarking):** El benchmarking consiste en comparar nuestros procesos con los de empresas líderes en nuestro campo de acción para obtener ideas de mejora basadas en el potencial de las empresas competidoras.

En resumen, todos estos principios tienen un objetivo común: mejorar todo el proceso de producción y reducir las actividades que no agregan valor. Esto se logra mediante la creación de un flujo de trabajo simple y uniforme, así como la reducción del tiempo de ejecución. Las actividades que no agregan valor se definen como pérdidas, y el Lean Production las divide en siete tipos distintos.

❖ **Sobreproducción**

Se refiere a la producción de más unidades de un producto o actividad de las que el cliente final o el proceso sucesor en la cadena de producción demanda. Esta es considerada la peor forma de pérdida ya que puede dar lugar a otra pérdida importante, que es el inventario.

❖ **Esperas**

Las esperas se refieren al tiempo perdido entre procesos o dentro de un proceso específico debido a la falta de materiales, herramientas, equipos o información necesarios. Este tipo de pérdida representa la mayor parte de las actividades no contributivas en un proceso.

❖ **Transporte**

Este tipo de pérdida no se relaciona con el transporte en sí, ya que, como veremos más adelante, es una actividad necesaria para llevar a cabo las actividades productivas. Más bien, se refiere al exceso de actividad de transporte, es decir, la falta de puntos de acopio que resulta en un transporte continuo de materiales sin contribuir a la producción.

❖ **Sobreprocesamiento**

Consiste en cargar una actividad simple con más trabajo del necesario. Los costos adicionales asociados a esta práctica no son asumidos por el cliente y generan pérdidas para el proyecto. Identificar y reducir este tipo de pérdida puede ser desafiante.

❖ **Inventario**

Se refiere a la acumulación de productos o materiales por parte de los subprocesos debido a diferencias en las demandas entre ellos, lo que resulta en flujos no balanceados. Este tipo de desperdicio también conlleva transporte y esperas, por lo que su eliminación es fundamental para lograr ahorros.

❖ **Movimientos**

Cualquier tipo de movimiento que no es necesario para completar una actividad de manera adecuada. Estos movimientos pueden ser realizados por personas o equipos. Este tipo de pérdida está relacionado con el estudio de tiempos y movimientos y requiere un análisis exhaustivo para su eliminación.

❖ **Defectos**

Los defectos se refieren a pérdidas debido a trabajos mal realizados o a productos que presentan defectos y, por lo tanto, no pueden entregarse a la siguiente actividad en ese estado.

Resolver estos defectos implica incurrir en costos que deben ser asumidos por la empresa.

Adicionalmente a los 7 tipos de desperdicio mencionados, se está proponiendo un nuevo desperdicio llamado "Making DO2". Este desperdicio se debe a una forma incorrecta de trabajo, es decir, llevar a cabo actividades cuando no se tienen todos los recursos o requisitos necesarios preparados. Como resultado, esto requiere un esfuerzo adicional para compensar la falta de recursos, lo que genera una cantidad de trabajo mayor de la necesaria.

2.2.2 Lean Construction

Lean Construction, como mencionamos anteriormente, se originó como una adaptación del Lean Production, que estaba inicialmente enfocado en empresas manufactureras. Por lo tanto, es comprensible que este proceso de adaptación enfrentara dificultades debido a las diferencias inherentes al proceso de construcción en comparación con otras industrias más especializadas.

En primer lugar, la industria de la construcción solía verse de manera tradicional como una industria de conversión, donde se tomaban materiales, se transformaban y se entregaban como productos terminados. Sin embargo, la filosofía Lean Construction considera la construcción no solo como una transformación, sino como un flujo continuo de materiales y recursos destinados a obtener un producto final. De esta manera, se pueden aplicar los principios de la producción lean. Según Ballard, el modelo de flujo de procesos permite visualizar las abundantes pérdidas que a menudo se encuentran en la construcción, a diferencia del modelo de conversión que no permite identificarlas de manera efectiva.

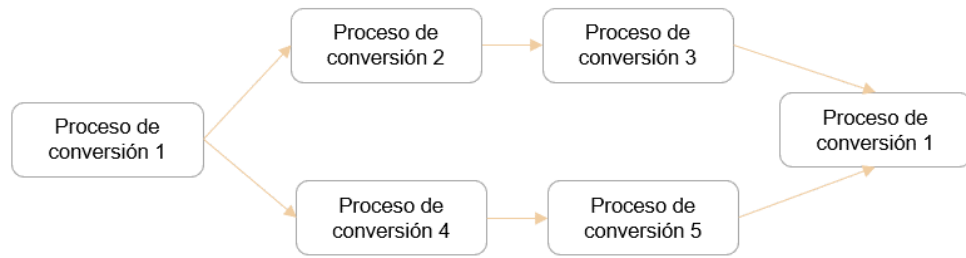


Figura 2.3. Modelo de conversión de procesos (Ghio, 2001)

La complejidad de la industria de la construcción también supone un desafío para aplicar los principios del Lean Production. Cada proyecto de construcción es único y se desarrolla en un entorno incierto. Incluso proyectos similares pueden seguir caminos totalmente distintos. La variabilidad es un factor inherente a la construcción debido a su complejidad, que involucra múltiples agentes en diversas etapas. Es importante recordar que prácticamente en todas las construcciones se trabajan con subcontratos, y estos no siempre están dispuestos a modificar su forma de trabajar en beneficio de mejoras generales.

A pesar de las complicaciones que presenta la industria de la construcción, se ha logrado adaptar el Lean Production a este sector, dando origen a la nueva filosofía de construcción llamada "Lean Construction". Esta nueva filosofía comparte el mismo enfoque: maximizar el valor para el cliente reduciendo al máximo las pérdidas.

Sistema de Producción Efectivo:

La filosofía de Lean Construction busca proporcionar soluciones a los desafíos que existen en la metodología actual de construcción en términos de costos, plazos y productividad en las obras. La metodología propuesta para lograr este objetivo se basa en la creación de un sistema de producción efectivo, y para ello se deben cumplir con tres objetivos básicos, en orden de prioridad.

A. Asegurar que los flujos no se detengan

En esta etapa, que es de vital importancia, la filosofía de Lean Construction propone centrarnos en mantener un flujo continuo, sin preocuparnos inicialmente por la eficiencia de los flujos y procesos. Esto se debe a que, al tener flujos ininterrumpidos, el trabajo no se detendrá, lo que nos permitirá identificar las fallas en cada proceso y en los flujos entre ellos para, posteriormente, eliminarlas como medida de mejora.

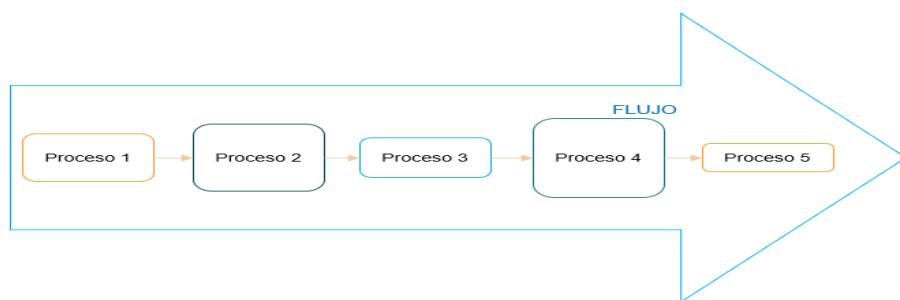


Figura 2.4. Modelo de flujo (Fuente: Capítulo peruano LCI)

Como se puede apreciar en la imagen, en esta primera etapa se logra mantener la continuidad del proceso general. Sin embargo, es evidente que se producen pérdidas debido a que la capacidad de producción de cada proceso es diferente, y, en consecuencia, los flujos también lo son.

Para lograr el primer objetivo, la filosofía de Lean Construction propone dos tipos de acciones importantes: el manejo de la variabilidad y el uso del sistema Last Planner.

Manejo de la variabilidad: Este aspecto adquiere una mayor importancia en proyectos de infraestructura que se encuentran alejados de las ciudades, ya que, en esas situaciones, la variabilidad tiende a ser mucho mayor en comparación con proyectos de edificaciones. Lean Construction sugiere abordar la variabilidad mediante el uso de buffers (almacenes temporales).

Sistema Last Planner: Esta herramienta es de mayor relevancia en proyectos de edificaciones, donde la variabilidad es menor y más controlable. Este sistema se encarga de asegurar que lo planificado se ejecute con una mayor probabilidad de éxito, incrementando así la confiabilidad del proceso de construcción.

B. Lograr flujos eficientes

El segundo objetivo fundamental para alcanzar un sistema de producción efectivo es lograr flujos eficientes. Esto se logra al dividir equitativamente el trabajo total entre los procesos, lo que resulta en procesos y flujos balanceados. Para conseguir este equilibrio, se aplican los principios de la física de producción y se sigue el concepto del tren de actividades.

Física de producción: En este enfoque se emplean conceptos de la teoría de restricciones, que establece la necesidad de equilibrar los flujos entre procesos, ya que todo el sistema se ve limitado por el proceso que genera el menor flujo. Este proceso determina la capacidad de producción del sistema en su conjunto.

Tren de actividades: Este enfoque propone dividir la cantidad de trabajo en partes iguales que cada proceso pueda ejecutar en un tiempo determinado, logrando así un equilibrio adecuado de recursos y estableciendo una secuencia lineal de actividades.

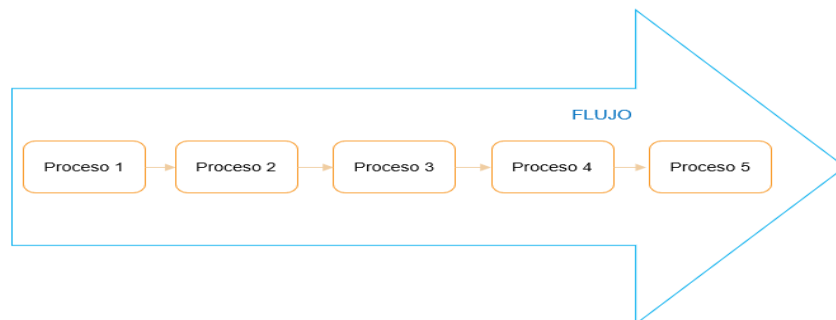


Figura 2.5. Modelo de flujo con procesos eficientes
(Fuente: Capítulo peruano LCI)

Al aplicar las herramientas mencionadas, se logrará el flujo del sistema que se muestra en la imagen. Según este flujo, se obtiene una continuidad y simetría entre los procesos, cumpliendo así el segundo objetivo.

C. Lograr procesos eficientes

Una vez cumplidos los objetivos previos, el tercer paso para alcanzar un sistema de producción efectivo, como lo propone la filosofía Lean Construction, implica la búsqueda de la eficiencia en los procesos. Esto se logra mediante la optimización de los procesos utilizando las herramientas que la filosofía Lean propone.

Optimización de Procesos: Las herramientas propuestas para lograr esta optimización en cada proceso son las cartas de balance y el nivel general de actividad. A través del uso de estas herramientas, se puede comprender el estado de un proceso y la forma de optimizarlo.

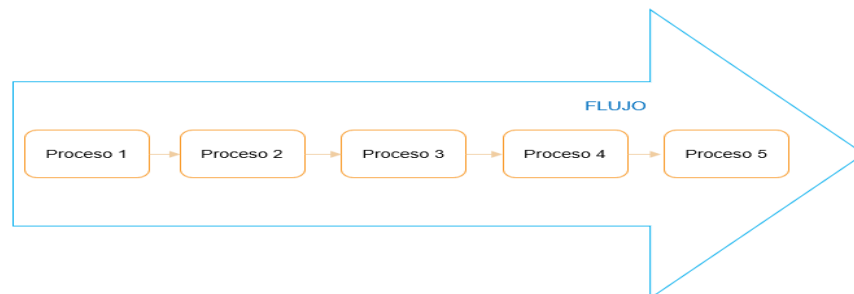


Figura 2.6. Modelo de flujo con procesos eficientes

(Fuente: Capítulo peruano LCI)

Como se aprecia en la imagen, el último objetivo busca dimensionar adecuadamente los procesos y recursos, eliminando el desperdicio dentro de cada proceso. Esto permite que todo el sistema de producción sea efectivo, ya que se logra un flujo continuo con procesos eficientes, lo que se refleja en un flujo efectivo dentro del sistema.

Lean Project Delivery System:

El Lean Construction Institute (LCI) define el Lean Project Delivery System (LPDS) como "una implementación organizada de principios y herramientas lean combinadas para permitir que un equipo opere un proyecto".

El Lean Construction Institute (LCI) desarrolló el Lean Project Delivery System (LPDS) como una metodología mejorada para desarrollar proyectos de construcción. Esta metodología amplía los conceptos Lean, que se originaron en el estudio de las teorías de producción en la industria seriada, y los aplica a todas las fases de un proyecto. Inicialmente, estas herramientas y teorías Lean se aplicaban solo en la etapa constructiva u operativa. Sin embargo, debido a los resultados positivos observados en la industria de la construcción, se comenzaron a aplicar estas teorías en las diversas áreas o fases que abarca un proyecto. Esto dio lugar a un sistema Lean que abarca no solo la parte operativa de un proyecto, sino todo su ciclo de vida.

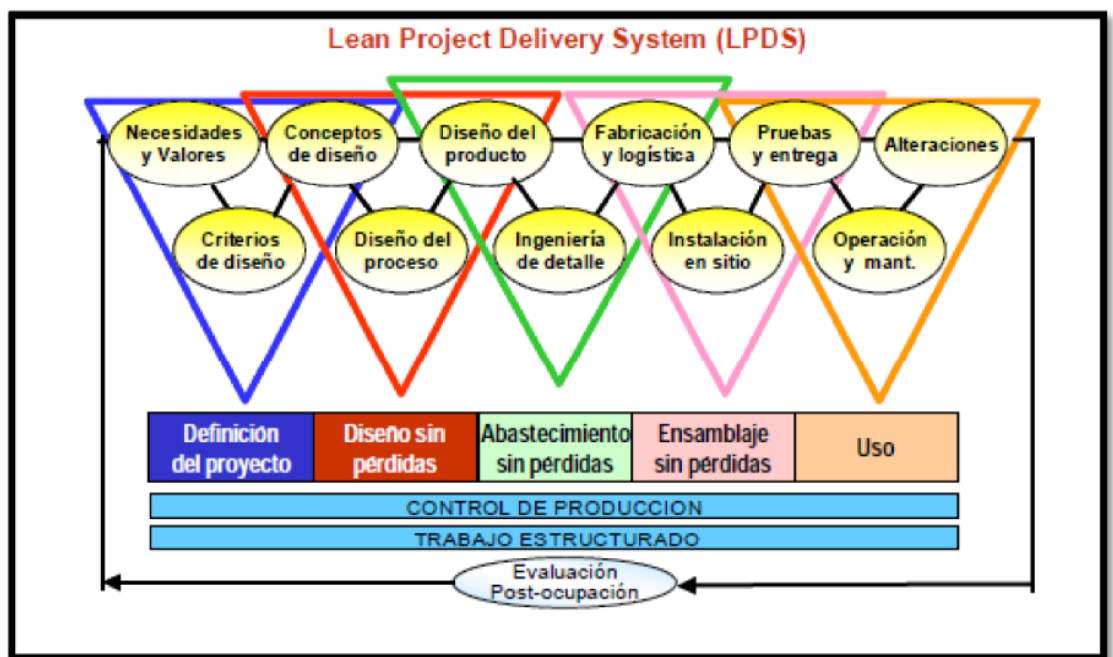


Figura 2.7. Lean Project Delivery System (Ballard, 2000)

El modelo del LPDS consta de 14 módulos, de los cuales 11 están organizados en 5 triadas o fases interconectadas entre sí, demostrando la interrelación de cada fase con las colindantes. Además, incluye 1 módulo de control de producción y otro de estructuración del trabajo, concebidos para extenderse a través de todas las fases del proyecto. También se encuentra el módulo de evaluación post-ocupación, que vincula el final de un proyecto con el inicio de otro (Figura N°6).

Las 5 triadas propuestas por el LPDS son las siguientes:

❖ **Definición del Proyecto (Project Definition):**

La fase de Definición del Proyecto consta de 3 módulos: Las necesidades y valores, que analiza y estudia las necesidades de los clientes finales y las expectativas de los inversionistas; los criterios de diseño, que son las pautas consideradas en la concepción de una idea como proyecto, basadas en la experiencia y conocimiento relacionado con el tema; y los conceptos de diseño, que consisten en la conceptualización de los dos módulos anteriores en alternativas o esquemas del proyecto que culminan en un anteproyecto.

❖ **Diseño Lean (Lean Design):**

La fase del diseño Lean se inicia con el último módulo de la fase anterior, Conceptos de diseño. Este módulo está vinculado a la fase anterior. Le sigue el módulo de Diseño del Proceso, que implica diseñar los pasos y procedimientos para lograr la fabricación efectiva y eficiente del producto o proyecto ya definido. El tercer módulo de esta fase es el Diseño del Producto, que consiste en estructurar adecuadamente las actividades necesarias para generar un conjunto de especificaciones que definan cómo será el producto final.

❖ **Abastecimiento Lean (Lean Supply):**

La fase de abastecimiento sin pérdidas está conectada con la fase anterior a través del módulo de Diseño del Producto. Es decir, para iniciar el abastecimiento sin pérdidas es necesario tener definido y diseñado el producto final o proyecto. En esta fase, se encuentra el módulo de Ingeniería de Detalle, que va de la mano con el diseño del producto. Ambos son indispensables para lograr el tercer módulo, que es la fabricación y logística. Sin un conocimiento preciso y una definición clara del producto que se fabricará, no se podrán adquirir ni tramitar los materiales necesarios para la siguiente fase.

❖ **Ejecución Lean (Lean Assembly):**

La fase de ensamblaje sin pérdidas representa la parte netamente productiva o lo que podría denominarse como Lean Construction. Comienza con la fabricación y logística, que brindan los materiales, herramientas y todos los recursos necesarios para la construcción. El segundo módulo de esta fase abarca la instalación o construcción in situ del proyecto, que representa la producción tal como la conocemos en un proyecto. Finalmente, esta fase cuenta con un módulo de salida que incluye pruebas al producto ensamblado y su entrega.

❖ **Uso:**

La fase de uso es la última de las 5 triadas que propone el LPDS y comienza con el módulo final de la fase anterior, es decir, con las pruebas y la entrega. Además, incluye el módulo de operación y mantenimiento, que se desarrolla durante toda la vida del proyecto, y una fase de alteraciones que abarca las reparaciones o modificaciones que pueda experimentar el proyecto inicial.

Además de los 11 módulos mencionados en las triadas, se tienen otros 3 que son los siguientes:

❖ **Control de Producción:**

El control de Producción es un módulo que abarca todas las fases del proyecto y consiste en el control de los flujos de trabajo y las unidades de producción. La principal herramienta de control de producción en este módulo es el Last Planner System.

❖ **Estructuración del Trabajo:**

El objetivo de este módulo es hacer que el flujo de trabajo durante la construcción sea más confiable, eficiente y añada valor al cliente. La estructuración del trabajo se aplica durante todo el período de duración del proyecto, desde su concepción como idea hasta su uso. Esto permite que todas las decisiones relacionadas con la estructuración del trabajo se puedan tomar en cualquier etapa del proyecto.

❖ **Evaluación Post-Ocupación:**

Este módulo sirve como nexo entre un proyecto terminado y uno nuevo. Funciona como un mecanismo de retroalimentación y mejora continua, ya que al evaluar el proceso de entrega y uso de un proyecto se pueden obtener conclusiones importantes que contribuyan a mejorar la calidad del proyecto en general y maximizar el valor que pueda obtener el cliente.

Herramientas Lean del LPDS:

Dentro del sistema de entrega de proyectos Lean se han desarrollado numerosas herramientas para cada una de las fases, con el objetivo de aplicar las enseñanzas teóricas de esta filosofía en la ejecución de los trabajos. En total, el LPDS cuenta con 42 herramientas, divididas en cada fase de la siguiente manera:

LPDS	Numero	Herramienta	Fuente
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	2	CUADERNO DE DISEÑO	Pablo Orihuela et al 2011
	3	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Pablo Orihuela et al 2011
	4	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Pablo Orihuela et al 2011
	5	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Ines Castillo 2014
	6	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPOSITOS	Pablo Orihuela et al 2011
	7	DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)	Yoji Akao 1978
DISEÑO LEAN	8	REPORTE A3	Toyota
	9	ESTACIONAMIENTO	Cynthia Tsao et al 2002
	10	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Carlos Formoso et a 1999
	11	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Carlos Formoso et a 1999
	12	LISTA DE TAREAS	Luis Alarcón et a 1998
	13	LISTA DE CHEQUEO	Luis Alarcón et a 1998
	14	SOLICITUD DE INFORMACIÓN (RFI)	Grupo internacional de Lean Construction
	15	CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO	Instituto de la industria de la construcción 1986
ABASTECIMIENTO LEAN	16	CENTROS LOGISTICOS	Iris Tommelein et al 2007
	17	5S	Toyota
	18	MATRIZ MULTICRITERIO	Pablo Orihuela et al 2008
	19	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Toyota
	20	KANBAN	Toyota

EJECUCIÓN LEAN	21	FIRST RUN STUDIES	Instituto de la construcción lean
	22	NIVEL DE ACTIVIDAD	Alfredo Serpell 1990
	23	CARTA DE BALANCE	Alfredo Serpell 1990
	24	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Nakagawa y Shimizu 2004
	25	POKA YOKE	Shingueo Shingo 1960
	26	MANUALES DE PROCESOS	Ines Castillo 2014
	27	ANDON	Toyota
	28	ONE TOUCH HANDLING	Glenn Ballard et al 2002
USO	29	EVALUACIONES POST-OCUPACIÓN	Instituto de la construcción lean
	30	MANUAL DEL CLIENTE	Ines Castillo 2014
	31	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Ines Castillo 2014
	32	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Cupertino et al 2011
	33	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Cupertino et al 2011
CONTROL DE PRODUCCIÓN	34	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Grupo internacional de Lean Construction
	35	PLANIFICACIÓN POR FASES	Glenn Ballard 2000
	36	LOOKAHEAD PLANNING	Glenn Ballard y Greg Howell 2004
	37	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Glenn Ballard y Greg
	38	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	Glenn Ballard y Greg
	39	RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Glenn Ballard y Greg
	40	LINEAS DE BALANCE	Goodyear Tire & Rubber Company
TRABAJO ESTRUCTURADO	41	5 WHYS	Toyota
	42	BUFFERS	Grupo internacional de Lean Construction

Figura 2.8. Ferramentas del LPDS (Tesis Ines Castillo, 2014)

Integrated Project Delivery (IPD):

El Integrated Project Delivery (IPD) es un sistema integral de entrega de proyectos que tiene como objetivo alinear intereses, metas y prácticas al renovar la organización, el sistema de operación y los términos comerciales que rigen el proyecto. Los miembros clave del

equipo de proyecto incluyen al arquitecto, consultores técnicos, el contratista general y los principales subcontratistas especializados. Estos miembros se unen en una organización capaz de aplicar los principios y prácticas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS).

El sistema integral de entrega de proyectos busca la participación activa de todos los involucrados en el proyecto, incluyendo proyectistas, consultores, contratistas, proveedores, especialistas, entre otros. Su objetivo es generar un producto con un valor agregado para el cliente, lo que resulta en ahorros para este último y mayores ganancias para las empresas involucradas.

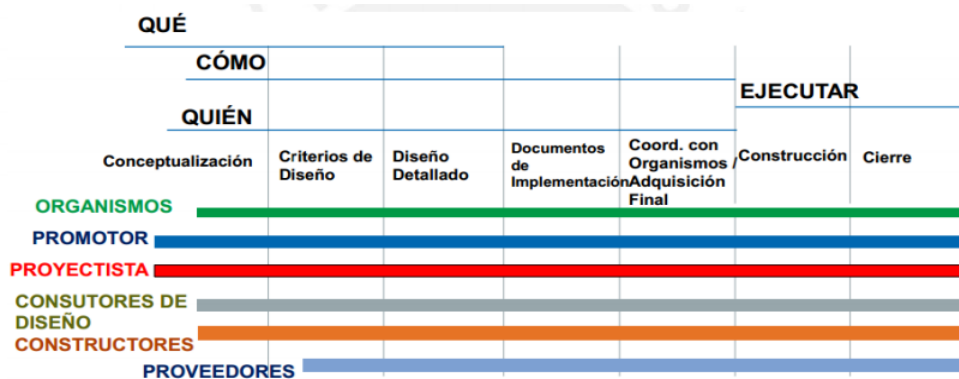


Figura 2.9. Propuestas del IPD (Fuente: Brosio, 2014)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el Integrated Project Delivery (IPD) propone que desde la etapa de conceptualización del proyecto se involucren a todos los interesados, incluyendo organismos, promotores, proyectistas, consultores y constructores, con el fin de crear un producto de valor agregado no solo para el cliente, sino también para todos los participantes del proyecto. En contraste, la metodología convencional muestra que cada participante del proyecto solo interviene en las etapas en las que tiene una acción directa, lo que limita su capacidad para introducir cambios

significativos que añadan valor al proyecto, especialmente a medida que este avanza, donde realizar cambios se vuelve más complicado. En el Perú, esta metodología aún está siendo conocida y adoptada gradualmente. Sin embargo, debido a la forma en que se lleva a cabo la construcción en el país, es poco probable que se aplique a gran escala.

Target Value Design (TVD)

El Target Value Design (TVD) es una práctica de gestión disciplinada que se utiliza a lo largo de un proyecto para asegurar que las instalaciones cumplan con las necesidades operativas y el valor requerido por el cliente. Su objetivo principal es entregar el proyecto dentro del presupuesto del cliente, incluso por debajo del valor de mercado, al mismo tiempo que fomenta la innovación en todos los procesos de creación del proyecto. Esto permite aumentar el valor del proyecto para el cliente y minimizar los costos al eliminar los desperdicios.

El enfoque de diseño basado en el valor invierte la práctica común de diseño en comparación con la metodología convencional. A continuación, se muestra un cuadro que ilustra cómo se desarrolla un proyecto utilizando tanto la metodología tradicional como el TVD:



Figura 2.10. Propuestas del IPD

(Fuente: Brosio, 2014)

El equipo de diseño tiene como objetivo principal diseñar el producto dentro de un costo objetivo (Target Cost) que es establecido por el propio equipo y que debe ser menor que el costo aceptable para el cliente. Esta estrategia tiene como finalidad impulsar la innovación y reducir las pérdidas en el proceso de diseño y construcción.

El siguiente gráfico muestra las diferencias entre el costo de mercado (Market Cost), el costo aceptable por el cliente (Allowable Cost) y el costo objetivo (Target Cost), así como el proceso de convergencia a lo largo del tiempo.

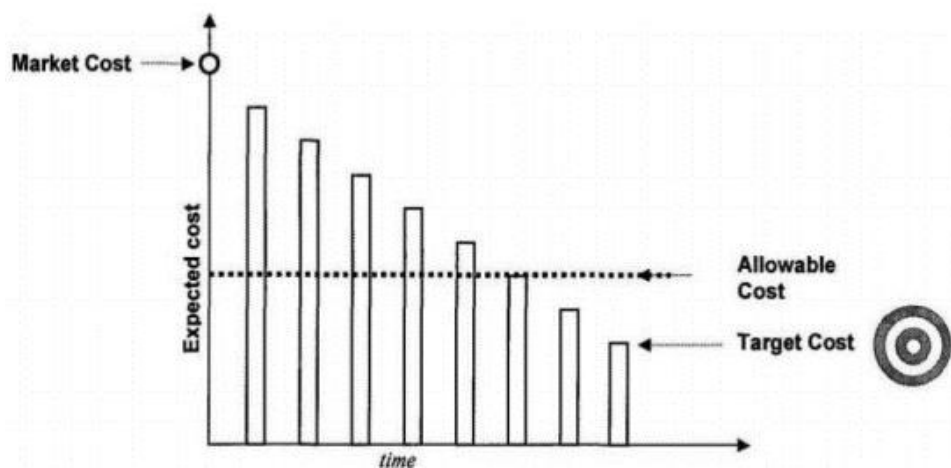


Figura 2.11. Términos de costeo asociados con TVD (Rybkowski S., 2009)

En el siguiente gráfico se presenta el proceso necesario para alcanzar el costo objetivo de un proyecto. Este procedimiento implica la reducción de costos mediante cambios en la ingeniería, la construcción y las interacciones directas con proveedores y contratistas. Estos cambios se aplican en cada uno de los subsistemas o etapas del proyecto, y a su vez, dentro de cada una de estas etapas, se consideran las partidas que las componen.

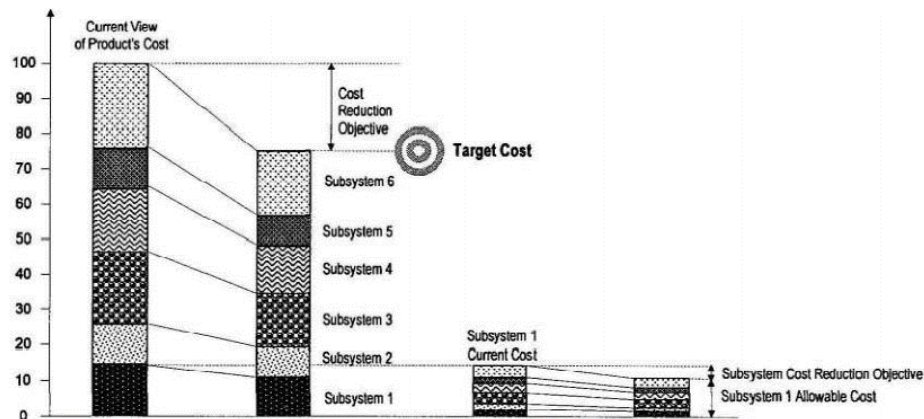


Figura 2.12. Ahorro en costos compartidos por subsistemas como resultado de los ejercicios de Target Costing (Rybkowski S., 2009)

2.2.3 CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

I. Productividad

Existen varios conceptos de productividad. Botero y Álvarez (2004) citan a Serpell (1999), quien sostiene que la productividad es "una medida de la eficiencia con la que se administran los recursos para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado."

También se puede definir como la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Esto significa que una mayor productividad implica una mayor producción utilizando la misma cantidad de recursos.

Según estudios sobre la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción, se consideró que los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades (Serpell, 2002):

- ❖ **Trabajo Productivo (TP):** Corresponde a las actividades que contribuyen directamente a la producción de una unidad de construcción. Ejemplos de esto incluyen verter concreto, asentar ladrillos, colocar cerámica, etc.
- ❖ **Trabajo Contributorio (TC):** Es el trabajo de apoyo, se define como el trabajo necesario para que se pueda llevar a cabo el trabajo productivo, pero que no agrega valor a la construcción. Se considera una pérdida de segunda categoría y debe minimizarse al máximo posible para mejorar la productividad. Ejemplos incluyen recibir y dar indicaciones, leer planos, transporte de material, etc.
- ❖ **Trabajo No Contributorio (TNC):** Corresponde a cualquier otra actividad realizada por el trabajador que no se clasifica en las categorías anteriores. Por lo tanto, se consideran pérdidas, ya que son actividades innecesarias que tienen un costo y no agregan valor. Se busca eliminar estas actividades para mejorar el proceso productivo. Ejemplos de esto incluyen esperas, descansos, trabajo rehecho, etc.

II. Variabilidad:

Podemos definir la variabilidad en el caso de los proyectos de construcción como la ocurrencia de eventos diferentes a los previstos debido a factores internos y externos al sistema. Esta variabilidad está presente en todos los proyectos y tiende a aumentar con la complejidad, velocidad, ubicación y magnitud de los mismos. Estos eventos son aleatorios y no se pueden predecir ni eliminar por completo. En otras palabras, podemos anticipar que habrá imprevistos, pero no sabemos de qué tipo ni cuándo ocurrirán. A pesar de esto, es crucial tenerlos en cuenta, ya que ignorarlos puede llevar a un aumento

significativo en su impacto en el proyecto.

En el caso específico de los proyectos de construcción, la variabilidad representa un gran problema debido a la cantidad de actividades que se llevan a cabo en todo el proceso de construcción. Sabemos que la confiabilidad de una actividad predecesora es del orden del 95%, lo cual es una confiabilidad aceptable en un proceso. Sin embargo, al tener muchas actividades predecesoras, el porcentaje de confiabilidad disminuye drásticamente, llegando a un valor del 8% cuando se trata de 50 actividades predecesoras.

Actividades Predecesoras	Confiabilidad del Proceso	Confiabilidad del último Proceso
1	95%	95%
2		90%
5		77%
10		60%
20		36%
30		21%
50		8%

Figura 2.13. Tabla de porcentajes de actividades predecesoras
(Fuente Capítulo peruano LCI, 2012)

Según los lineamientos de la filosofía Lean Construction, las metas de nuestra producción son producir el producto, maximizando la eficiencia y minimizando las pérdidas. La manera de minimizar las pérdidas, como primer paso para alcanzar las dos primeras metas, es el correcto manejo de la variabilidad, que es la principal fuente de desperdicios en la construcción, como la baja productividad y los trabajos no óptimos, así como los paros en los procesos, entre otros.

Dado todo lo expuesto, queda claro que se debe tomar medidas para abordar la variabilidad. El primer paso debería ser reducirla tanto como sea posible, para lograr una variabilidad mínima. Luego de esto,

se deben implementar herramientas en la obra para minimizar el impacto negativo que esta genera.

Just in Time

El Just in Time (justo a tiempo) se basa en la idea simple de que el inventario representa una pérdida para la producción, ya que incurre en costos innecesarios. Por lo tanto, este modelo de gestión de recursos, basado en los principios del lean production, busca minimizarlo al máximo mediante una gestión adecuada del abastecimiento de materiales.

El Just in Time es un sistema que garantiza la producción o el suministro de la cantidad correcta de materiales o productos en el momento exacto en que son necesarios para la producción. En resumen, su enfoque es "tener el material adecuado, en el momento adecuado, en el lugar correcto y en la cantidad exacta".

Implementar la ideología del Just in Time en las obras de Perú, y en particular en Lima, requiere una planificación exhaustiva por parte de la obra y la búsqueda de proveedores confiables que estén dispuestos a adoptar esta metodología como parte de su funcionamiento. Esto es fundamental porque los proyectos de construcción dependen en gran medida de los proveedores que suministran materiales. Aunque existen medios para gestionar eficazmente los recursos en la obra, como el método Lookahead, combinarlo con la ideología del Just in Time sería asumir demasiados riesgos, ya que se pondría el avance de la obra en manos de los proveedores y se estaría expuesto a los efectos de la variabilidad, que en general la filosofía Lean Construction busca reducir.

Curva de Aprendizaje

El concepto de la curva de aprendizaje fue descrito por primera vez por T.P. Wright en 1936 en un estudio sobre el tiempo necesario para fabricar piezas de aviones. En este estudio, se observó que a medida que los trabajadores adquieren más experiencia en sus tareas, el tiempo necesario para completar el trabajo disminuye.

La relación encontrada por Wright entre el porcentaje de aprendizaje y la reducción de los tiempos en el trabajo asignado se basa en la idea de que cuando una persona realiza una tarea el doble de veces ($2n$), el tiempo de ejecución se reduce en función del porcentaje de aprendizaje. A continuación, se muestra una tabla con los resultados del experimento realizado por T.P. Wright en 1936.

N repetitions	Time required to make airplane parts	
	Time / Ratio Unit	Ratio T_n/T_1 $T_n/T_{n/2}$
1	10	
2	8	0.8 0.8
3	7	0.7
4	6.4	0.64 0.8
5	6	0.6
6	5.6	0.56 0.8
7	5.3	0.53
8	5.1	0.51 0.8

Figura 2.14. Tiempo requerido para fabricación de partes de avión (T.P. Wright, 1936)

Estos datos se pueden expresar en un gráfico que muestra la reducción del tiempo de ejecución del trabajo a medida que avanza el tiempo y, por ende, aumenta el aprendizaje de los operarios. Luego, se alcanza un nivel de especialización en el cual el tiempo de ejecución del trabajo se mantiene constante.

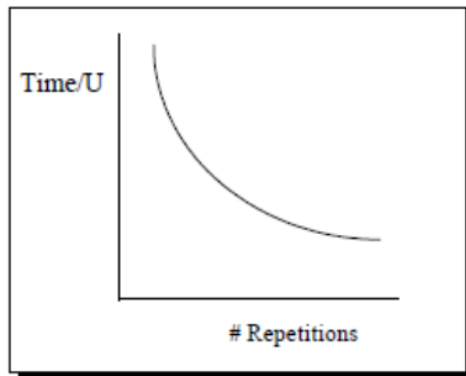


Figura 2.15. Curva tiempo de ejecución Vs número de repeticiones (T.P. Wright, 1936)

Finalmente, cabe mencionar que este concepto es ampliamente utilizado en Lean Construction, ya que se centra en asignar trabajos específicos a cada cuadrilla para que los trabajos se vuelvan repetitivos y, de esta manera, aprovechar al máximo este concepto.

Además, se presenta el gráfico de la curva de aprendizaje en los trabajadores, el cual se divide en tres partes. En la primera parte, se observa un inicio lento del aprendizaje; en la segunda, el aprendizaje se acelera significativamente en comparación con la primera; finalmente, en la tercera parte, el aprendizaje apenas incrementa con el tiempo, ya que se ha alcanzado un nivel óptimo.

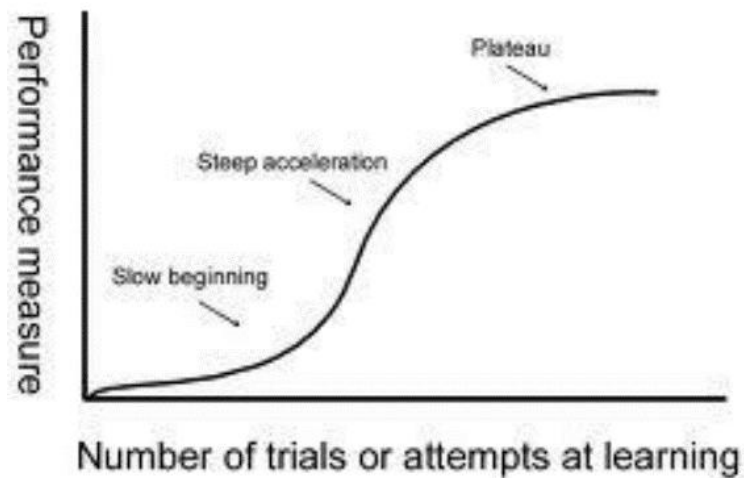


Figura 2.16. Curva de rendimiento Vs número de repeticiones (T.P. Wright, 1936)

Sectorización

Se refiere al proceso de dividir una actividad o tarea de la obra en segmentos más pequeños conocidos como sectores. Cada sector debe contener una cantidad de trabajo aproximadamente igual a los demás para mantener un flujo continuo entre ellos. El volumen de trabajo asignado a cada sector debe ser factible de completar en un día.

La sectorización está relacionada con la teoría de lotes de producción y lotes de transferencia. Al dividir el trabajo en sectores más pequeños, estamos fragmentando nuestro lote de producción en unidades más manejables que serán transferidas a las actividades siguientes (lotes de transferencia). Además, al llevar a cabo la sectorización, se optimizan los flujos de recursos en la obra, lo que beneficia a todo el sistema de producción.

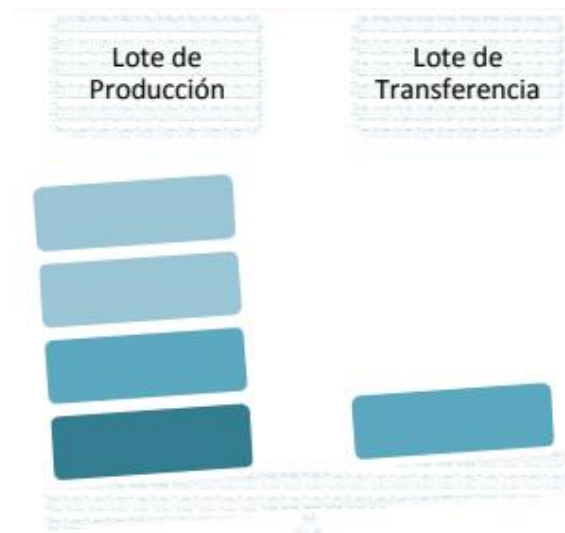


Figura 2.17. Comparación de lotes de producción Vs Lotes de transferencia

(Fuente: EDIFICA)

La sectorización en la construcción se realiza con el propósito de dividir el trabajo en partes más manejables y formar lo que denominamos el "tren de trabajo". Esto permite separar las cuadrillas

por especialidad y optimizar los rendimientos de cada una de ellas aprovechando la curva de aprendizaje.

Tren de actividades

El tren de actividades es una metodología similar a las líneas de producción en las fábricas, donde el producto avanza a través de varias estaciones y se transforma en cada una de ellas. En el contexto de la construcción, que no es una industria automatizada como las fábricas y donde no se puede mover el producto a través de múltiples estaciones, se ha desarrollado el concepto de tren de actividades. Según esta metodología, las cuadrillas de trabajo avanzan una detrás de otra a través de los sectores previamente establecidos en el proceso de sectorización. El objetivo es mantener un proceso de trabajo continuo y ordenado, lo que facilita la identificación de los avances mediante la ubicación de las cuadrillas en un sector determinado.

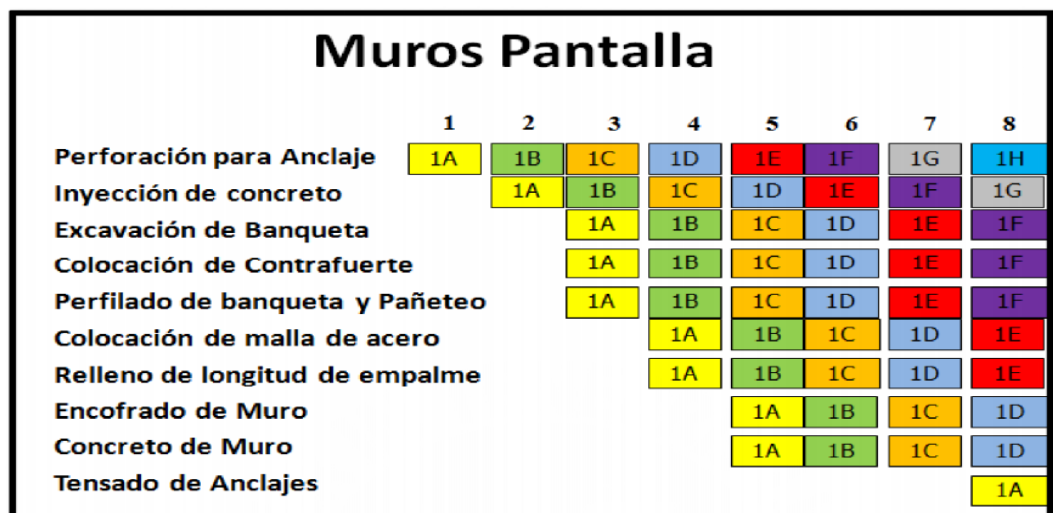


Figura 2.18. Ejemplo de tren de actividades en muros pantalla

(Fuente: EDIFICA)

Como principales ventajas de la aplicación de los trenes de trabajo, se pueden mencionar:

- Incremento de la productividad.
- Mejora en la curva de aprendizaje.
- Posibilidad de estimar el avance y los gastos diarios.
- Capacidad de prever el avance en un día específico.
- Reducción de la cantidad de trabajos repetidos.

Buffers

La planificación y programación en proyectos de construcción son fundamentales para el éxito de cada proyecto, ya que definen la secuencia, ritmo y duración de todos los procesos constructivos involucrados. Sin embargo, las técnicas de programación convencionales no han abordado de manera eficiente la naturaleza variable de los proyectos, lo que resulta en retrasos y costos adicionales. Aunque la metodología propuesta por la filosofía Lean Construction a través del Last Planner reduce significativamente los efectos de la variabilidad en el proyecto, aún existe cierta variabilidad que escapa de este sistema. Por lo tanto, se propone el uso de Buffers para contrarrestar los efectos de la variabilidad que no pueden ser controlados mediante el sistema Last Planner.

Un Buffer se entiende como un colchón o amortiguador que se utiliza como una alternativa para mitigar los efectos negativos de la variabilidad en la construcción. Los Buffers pueden ser de tres tipos:

- ❖ **Buffer de Inventario:** Este tipo de Buffer implica mantener una cantidad mayor de materiales y/o equipos de la necesaria para evitar que el flujo de trabajo se detenga en caso de que se produzcan fallos en la entrega de recursos.
- ❖ **Buffer de Tiempo:** El Buffer de tiempo consiste en reservar un tiempo adicional en el cronograma del proyecto para usarlo en caso de complicaciones, de modo que el proyecto no exceda el plazo establecido.

❖ **Buffer de Capacidad:** Los Buffers de Capacidad son partes no críticas de la obra que se dejan sin programar para realizarlas cuando sea necesario un lugar de trabajo adicional debido a la falta de frente de trabajo o para utilizar los materiales excedentes.

A pesar de que los Buffers son una estrategia efectiva para reducir la variabilidad en los procesos de producción en la construcción, actualmente no existen modelos analíticos que determinen tamaños óptimos para los Buffers ni metodologías establecidas para su gestión. La implementación de tamaños de Buffers óptimos puede mejorar la capacidad predictiva de los programas de construcción y una administración adecuada de estos puede optimizar el flujo de producción en el sitio de trabajo. Sin embargo, se requiere un esfuerzo significativo para desarrollar procedimientos óptimos de dimensionamiento y gestión de Buffers.

Last Planner System

El Sistema del Último Planificador (Last Planner System) es una herramienta de la filosofía Lean Construction que se encuentra dentro del LPDS (Lean Project Delivery System) en la fase de control de la producción. Este sistema engloba diversas herramientas de control de producción, como la planificación maestra, planificación por fases, lookahead, plan semanal, porcentaje de plan cumplido y causas de no cumplimiento.

Basado en la teoría de Lean Production, Herman Glenn Ballard y Gregory A. Howell desarrollaron un sistema de planificación y control de proyectos conocido como el "Sistema del Último Planificador". Este sistema se presentó por primera vez en 1994 por Glen Ballard como una herramienta destinada a abordar los principales obstáculos en la construcción, según los autores:

- La planificación no se concibe como un sistema, sino que depende

completamente de la experiencia del profesional a cargo.

- La gestión se centra en el corto plazo, descuidando el largo plazo.
- No se realizan mediciones del desempeño obtenido.
- No se analizan los errores de programación ni las causas que los originan.

El "Último Planificador" es la persona o grupo de personas responsables de ejecutar el LPS. Se define como aquellos que tienen la función específica de asignar el trabajo y transmitirlo directamente al campo de trabajo, es decir, se encuentran en el nivel final de planificación y se encargan de asegurarse de que toda la planificación se implemente efectivamente en el terreno.

Además, la función del último planificador incluye garantizar que lo que se desea hacer coincida con lo que se puede hacer, y que ambas partes se conviertan en lo que finalmente se llevará a cabo. Esto se puede visualizar en el siguiente esquema.

Según Ballard (1994), "en los esquemas convencionales de gestión de proyectos de construcción, se dedica una cantidad significativa de tiempo y recursos a la creación de presupuestos y planificaciones de obra. Sin embargo, este esfuerzo de planificación inicial suele convertirse, durante la ejecución de la construcción, en un esfuerzo de control. Todo funcionaría bien si viviéramos en un mundo perfecto".

No obstante, como sabemos, la planificación suele desviarse de lo propuesto prácticamente desde el primer día de la obra, lo que genera un efecto dominó y perjudica las actividades siguientes. Esto da lugar a la necesidad de replanificar gran parte del proyecto a medida que las holguras disminuyen. En el contexto de la planificación general,

aumenta la presión por terminar más rápido, lo que a su vez resulta en un aumento radical de los costos de mano de obra y equipos. Esto conlleva al uso excesivo de recursos y, como consecuencia, a una eficiencia muy baja para lograr terminar la obra en los plazos establecidos.

La teoría del último planificador se enmarca en un esquema de planificación a corto plazo con el objetivo de asignar trabajos que se puedan cumplir con seguridad. A través del cumplimiento de las programaciones a corto plazo, se busca lograr la programación a largo plazo. Está demostrado que las planificaciones con un horizonte muy amplio generalmente no se cumplen, ya que los trabajos en obra tienden a desviarse de la programación apenas unos días después de haber comenzado.

El modelo de Last Planner actúa como un escudo que ayuda a transformar una planificación insegura en una planificación confiable, como se muestra en el siguiente gráfico.

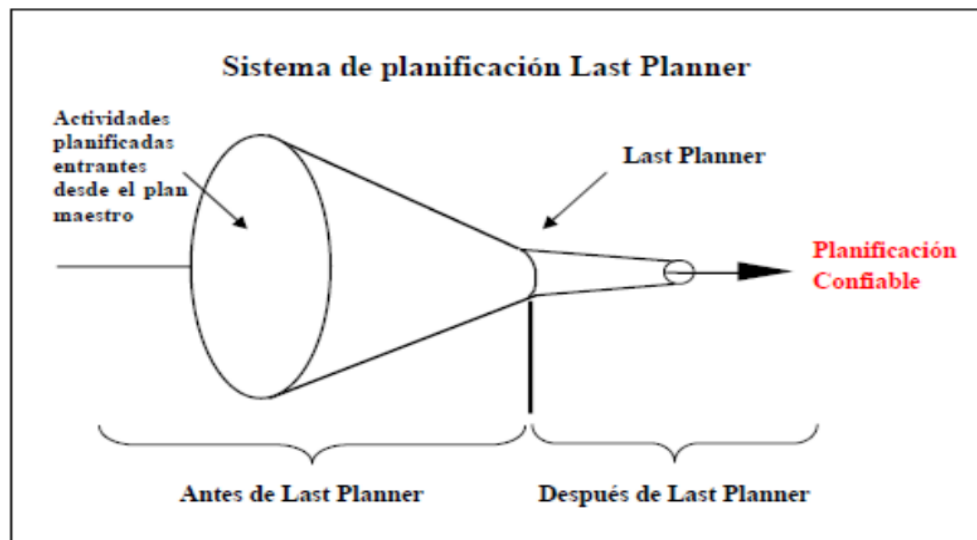


Figura 2.19. Representación gráfica del Last Planner System (Rojas: 2005)

Ballard buscaba que el Last Planner no fuera solo una herramienta de programación, sino también de control. Por lo tanto, adjuntó al modelo

Last Planner el PPC (plan percent complete) para verificar el cumplimiento de las programaciones semanales y medir la eficiencia de la planificación operativa, así como el valor real de confiabilidad del proceso de planificación y programación en un proyecto específico.

En la primera publicación sobre el Last Planner, Ballard presentó un esquema que muestra cómo el Last Planner interviene en la planificación de una obra y cómo los cambios y mejoras que esto implica afectan a toda la planificación y, por ende, al desarrollo del proyecto.



Figura 2.20. Esquema del Last Planner System (V. Ghio: 2001)

El último planificador proporciona las herramientas necesarias para garantizar el cumplimiento exitoso de la programación a largo plazo. Comienza acortando la programación a una de mediano plazo, conocida como "lookahead", que varía en períodos de 3 a 5 semanas. En esta etapa, se realiza un análisis de las restricciones que pueden surgir en las actividades dentro del programa. Luego, se pasa a una programación más corta, que es la semanal. En esta programación semanal se incluyen todas las actividades que no tienen restricciones,

previamente identificadas en el lookahead. Esto proporciona la certeza de que no habrá inconvenientes para cumplir con la programación establecida para la semana.

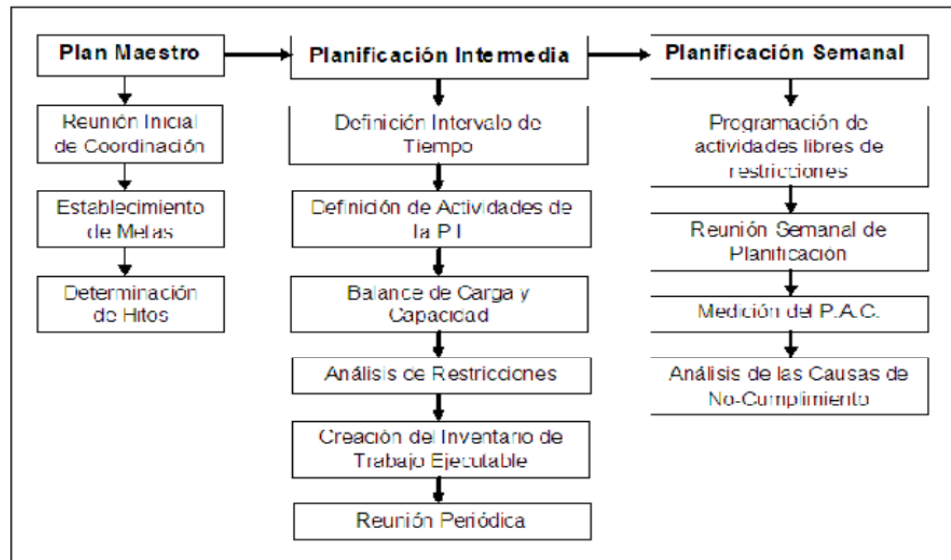


Figura 2.21. Estructura fundamental del Last Planner System (Adriazola y Torres: 2004)

Planificación maestra

La planificación maestra, también conocida como Master Schedule, es un plan que identifica los principales acontecimientos o hitos de un proyecto, como el inicio, la entrega al cliente, la adquisición de componentes a largo plazo, las movilizaciones en el campo, el diseño completo, las licencias, entre otros, junto con sus fechas correspondientes. A menudo, sirve de base para los acuerdos contractuales entre el cliente, el contratista y otros miembros del equipo de trabajo del proyecto. Esta programación es fundamental para el sistema Last Planner, ya que de ella se derivarán las programaciones a mediano y corto plazo. Por lo tanto, es de vital importancia que se realice teniendo en cuenta el desempeño real de la empresa en la obra.

❖ Líneas de Balance

El método de Líneas de Balance fue desarrollado en la década de 1940, durante la Segunda Guerra Mundial, por un grupo de trabajo liderado por George E. Fouch, encargado de supervisar la producción de la empresa Goodyear Tire & Rubber Company. Desde entonces, se ha aplicado de manera constante en la construcción, con el primer registro de su uso por Lumsden en 1998.

En la actualidad, existen varias opciones para la planificación y el control de proyectos, como el CPM (Método de la Ruta Crítica), el PDM (Método de Diagramas de Precedencias), el PERT (Técnica de Programación, Evaluación y Revisión) y el LDB (Método de Líneas de Balance). Sin embargo, cada uno de estos métodos tiene características distintas en cuanto a la información que proporciona y al nivel de detalle que puede alcanzar. Estas técnicas permiten determinar la ruta crítica del proyecto, que incluye las actividades cuya duración afecta la duración total del proyecto.

La Línea de Balance es una técnica de planificación que nos permite representar cada actividad de un proyecto de construcción como una única línea en lugar de una serie de actividades, como se haría en un diagrama de barras tradicional, resultado de métodos como el CPM, el PDM o el PERT. Este método es especialmente recomendable para proyectos repetitivos, como la construcción de edificios o múltiples unidades de vivienda que requieren el mismo tipo de trabajo a lo largo de todo el proceso de producción.

A continuación, se presenta una comparación entre un gráfico de barras y un gráfico de líneas de balance para las mismas actividades de un proyecto.

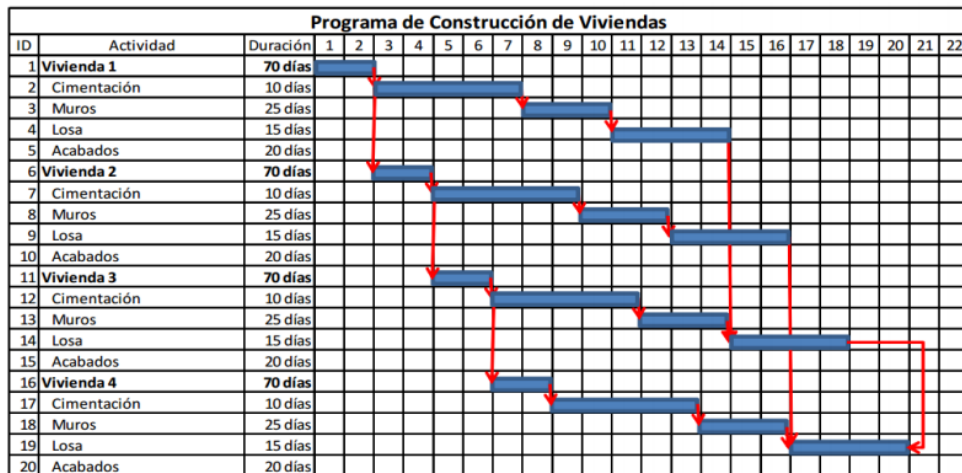


Figura 2.22. Programa de construcción de viviendas por barras (Fuente: J. H. Loria)

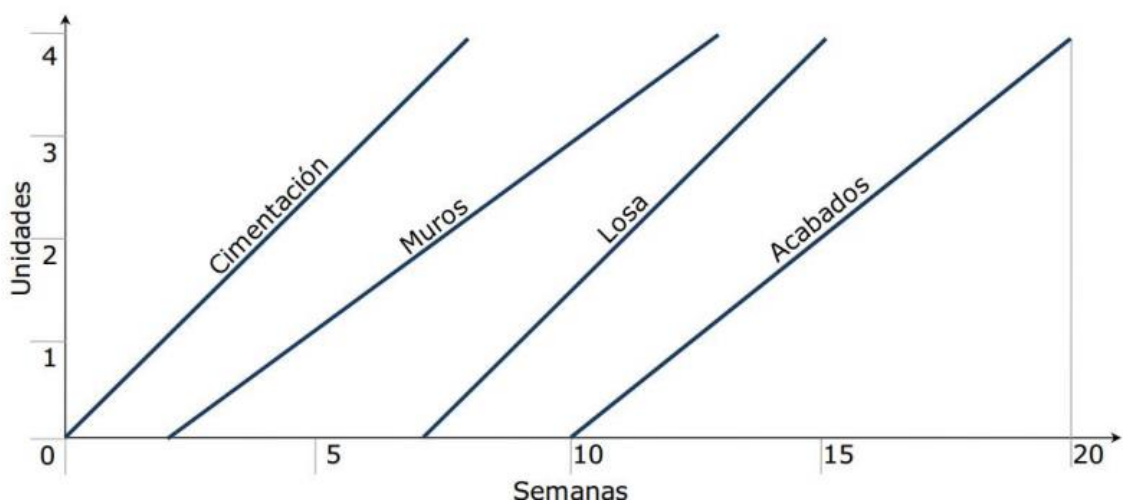


Figura 2.23. Programa de construcción de viviendas por líneas de balance (Fuente: J. H. Loria)

Los principales beneficios que se pueden obtener de una programación con líneas de balance son los siguientes:

- Las líneas de balance consolidan un grupo de actividades similares en una sola línea, lo que permite representar un gran número de actividades de una manera más sencilla que un diagrama de barras.
- Las líneas de balance muestran el ritmo de trabajo necesario para

cumplir con el cronograma, mientras que un diagrama de barras solo muestra la duración de cada actividad a lo largo del proyecto.

- El gráfico de Gantt o de barras muestra relaciones directas entre actividades, a diferencia de un gráfico de líneas de balance que muestra la relación de un grupo de actividades con respecto al grupo subsecuente.
- En un diagrama de barras, se tienen dos dimensiones (tiempo y actividades), mientras que en un gráfico de líneas de balance se pueden visualizar tres dimensiones (tiempo, lugar y actividades), lo que lo hace mucho más útil al transmitir una mayor cantidad de información.
- Un cronograma de líneas de balance también sirve para mostrar el ritmo real de trabajo, analizar el estado real de avance del proyecto y la fecha de terminación. Además, permite ajustar los ritmos de trabajo de manera rápida en comparación con un gráfico de barras, que requiere una gran cantidad de recursos para reprogramar todo el plan.

Phase Plan o Pull Plan (Pull Planning)

La programación por fases se utiliza para desarrollar un plan de trabajo más detallado que el cronograma general del proyecto, identificando hitos en cada fase importante. En la programación por fases se analizan los trabajos necesarios para cumplir con el hito, las interacciones entre los especialistas involucrados en la fase y los entregables de cada responsable. Los entregables o restricciones establecidas en el programa de fase se convierten en acuerdos que todo el equipo de trabajo debe cumplir.

La planificación de la fase se realiza utilizando técnicas "pull" (realizar solo el trabajo necesario para una actividad sucesora), comenzando desde la fecha de entrega hacia atrás. Esto garantiza que solo se

realice el trabajo necesario para las actividades inmediatamente siguientes, lo que se traduce en un enfoque en los trabajos que agregan valor y una reducción de la sobreproducción, uno de los 7 tipos de desperdicios que generan inventario de trabajo ejecutable.

La metodología establecida por el LCI para la programación por fases se basa en hojas o post-it que se colocan en una pizarra. Cada post-it representa una actividad o restricción con un responsable, una fecha de entrega y un requerimiento de trabajo o información. Para llevar a cabo la programación por fases, primero se debe establecer la secuencia lógica de actividades según el proceso constructivo y organizar los post-it en la pizarra de acuerdo con esa secuencia. Luego, se determina la duración de cada actividad en la pizarra para establecer la duración total de la fase (sin incluir holguras). Una vez hecho esto, el equipo de trabajo revisa el plan en cuanto a la lógica del proceso y la duración de las actividades para definir la holgura de la fase y cómo gestionarla, con tres opciones disponibles (1. Asignarla a la actividad o actividades con mayor potencial de variabilidad, 2. Retrasar el inicio de la fase, 3. Acelerar el inicio de la fase). Finalmente, si el tiempo establecido para la fase es menor que el hito, se debe reprogramar el hito y buscar recuperar el tiempo en otras fases.

El beneficio principal de esta metodología es que convierte la planificación "impuesta" que anteriormente era desarrollada por el ingeniero de producción y/o el ingeniero residente en una planificación colaborativa, en la cual todos los involucrados participan activamente en la creación, modificación y ejecución del plan. Esto logra que todos se sientan involucrados en la producción y aumenta la confiabilidad del plan.

Descripción del proceso de la planificación por fases:

Según Alarcón (2012), el proceso sigue estos pasos:

Definir la estructura:

Se debe definir los sectores, actividades, equipos y responsables de la fase para establecer cómo se llevará a cabo la planificación.

Armar el panel:

El panel se construye incluyendo todas las actividades de la fase en el eje vertical y el tiempo controlado semanalmente en el eje horizontal.

Desarrollar la planificación:

Alarcón propone 7 pasos para desarrollarla:

- a. Definir y presentar la fase.
- b. Recorrer el plan de fin a inicio y registrar la información.
- c. Revisar y reexaminar la lógica del plan mediante lluvia de ideas.
- d. Evaluar la factibilidad de las ideas y separar buffers/holguras.
- e. Revisar el plan con nuevas duraciones.
- f. Gestionar el tiempo considerando la incertidumbre.
- g. Resumir el trabajo realizado y los acuerdos alcanzados con el equipo.

Reexaminar el programa:

En esta etapa, se agregan las holguras y se ajusta el plan general. Se determinan nuevas duraciones de actividades y se identifican restricciones importantes. Se resumen los acuerdos del equipo.

Revisar las restricciones:

Se trata de identificar las restricciones para garantizar el flujo según lo planificado. Los post-it en la pizarra representan actividades, algunas de las cuales pueden convertirse en restricciones.

Cumplir los acuerdos:

La esencia de la programación por fases es que los acuerdos hechos por el equipo de trabajo tienen la fuerza de un contrato.

Look Ahead Plan:

El Lookahead plan es una planificación a corto plazo basada en la planificación de fase. Identifica todas las actividades que se ejecutarán en las próximas semanas y se actualiza semanalmente. También incluye actividades nuevas que se agregarán al plan en el futuro cercano (generalmente, 6 semanas después). El propósito del Lookahead es dirigir los esfuerzos hacia la prevención de problemas en lugar de solo controlar la programación. Para lograrlo, se incorporan tanto las actividades como los requerimientos necesarios para que las actividades del plan pasen a la programación semanal. Esto permite tomar acciones en el presente para obtener buenos resultados en el futuro.

El Lookahead planning ayuda a tomar el control anticipadamente del impacto en la producción debido a factores como la mano de obra, materiales y equipos, que a menudo dependen de nosotros. Este enfoque busca evitar que falten recursos cuando sean necesarios.

Inventario de trabajo ejecutable (Workable backlog):

Cuando se liberan las restricciones de una actividad, esta se incluye en una lista de actividades que pueden ejecutarse, conocida como el inventario de trabajos ejecutables. Esta lista incluye tareas de semanas futuras y posiblemente tareas que debían realizarse en la semana actual pero no se consideraron en las asignaciones semanales. El objetivo es mantener un inventario que asegure un trabajo realizable por unidades con el doble de capacidad que las disponibles en obra, evitando así la ociosidad de unidades en caso

de que falle la realización de alguna actividad planificada.

Programación semanal (Weekly work plan):

La programación semanal se deriva del Lookahead y se basa en un análisis de restricciones previo para garantizar que las actividades programadas cuenten con los recursos necesarios. Las metodologías de medición lean, como el PPC (porcentaje de plan cumplido), se basan principalmente en las programaciones semanales. Para lograr resultados óptimos, es fundamental:

Levantar restricciones en el Lookahead.

Asignar la cantidad de trabajo adecuada según la cuadrilla.

Seleccionar la secuencia correcta de trabajos.

Definir claramente las tareas y asegurarse de que sean comprensibles para los encargados.

Programación diaria:

La programación diaria es la última etapa del proceso de planificación del sistema Last Planner. Se deriva de la programación semanal y se utiliza para transmitir información a campo sobre las actividades que deben realizarse en la jornada de trabajo. Se puede presentar de manera gráfica en planos pequeños para facilitar la identificación de las actividades o de manera textual, detallando los elementos y su ubicación. La programación diaria permite el control de los avances diarios en la obra y se utiliza para calcular el PPC correspondiente. Es esencial que sea comprensible para todos los equipos involucrados en el proceso de construcción, desde el maestro hasta los operarios.

La Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints)

A principios de la década de 1980, el Dr. Eliyahu Goldratt escribió su libro "La Meta" y comenzó el desarrollo de una nueva filosofía de

gestión conocida como la "Teoría de Restricciones" (TOC, por sus siglas en inglés). La TOC surgió como respuesta a un problema de optimización de la producción. En la actualidad, ha evolucionado para proponer alternativas destinadas a integrar y mejorar todos los niveles de una organización, desde los procesos centrales hasta los desafíos cotidianos.

La Teoría de las Restricciones (TOC) sostiene que un conjunto de procesos interrelacionados y mutuamente dependientes genera una producción según la capacidad del proceso más lento. Para aumentar la velocidad de este conjunto, es necesario incrementar la capacidad del proceso más lento. Esta teoría se enfoca en los factores limitantes, a los que denomina restricciones o "cuellos de botella".

En toda empresa, al menos una restricción está presente; de lo contrario, generarían ganancias ilimitadas. Siendo las restricciones los elementos que obstaculizan la obtención de dichas ganancias, se deduce que la gestión debe centrarse en identificar y controlar estas restricciones.

La teoría de restricciones es aplicable tanto a una línea de producción como a un sistema compuesto por varios procesos. En la construcción, los procesos se dividen en etapas pequeñas que se suceden una tras otra, de manera similar a una línea de producción en una fábrica. La diferencia radica en que, en la construcción, son las estaciones de trabajo las que avanzan en el proceso, en contraste con las fábricas donde el producto se desplaza entre estaciones de trabajo. Por lo tanto, estos conceptos son completamente aplicables al campo de la construcción y son la base de la optimización de flujos y procesos que describe la filosofía lean.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La implementación eficaz de la filosofía de Lean Construction, junto con la adopción de Metodologías Ágiles, ha demostrado tener un impacto significativamente positivo en la productividad de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados en el Hospital Regional de Pucallpa. Este efecto se manifiesta en la optimización de los procesos, la reducción del desperdicio y el incremento en la eficiencia operativa de la instalación en cuestión.

3.1.2 Hipótesis específicas

HE1: Existen diversos factores que ejercen una influencia directa en la productividad de una instalación dedicada al tratamiento de residuos biocontaminados. Entre estas variables se encuentran la eficiencia de los procesos operativos, la cualificación del personal, la disponibilidad de recursos materiales y financieros, la gestión integral de los residuos y el estricto cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. La interacción entre estos factores es compleja y su relevancia puede fluctuar según el contexto específico en el que se ubica la instalación.

HE2: La productividad en instalaciones destinadas al tratamiento de residuos biocontaminados experimenta variaciones significativas en función de diversos factores, tales como la eficacia de los procesos implementados, la disponibilidad de recursos materiales y financieros, la cualificación del personal y el estricto cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Se anticipa que existirá una correlación positiva entre la optimización de estos factores y un incremento en la productividad de la mencionada planta.

HE3: Se anticipa que la identificación y el análisis exhaustivo de los principales desperdicios e ineficiencias en el proceso de instalación de la planta para el tratamiento de residuos biocontaminados, junto con la aplicación efectiva de los principios y herramientas inherentes a la filosofía de Lean Construction, conducirán a una reducción significativa de tales deficiencias. Esta intervención se traducirá en una mejora de la eficiencia operativa, una disminución en los costos y plazos de ejecución, y un incremento en la productividad global del proceso de instalación. En este contexto, la implementación de Lean Construction se presenta como una estrategia eficaz para mitigar los desafíos identificados y optimizar la gestión de proyectos en esta área especializada.

HE4: Se postula que la implementación eficaz de la filosofía de Lean Construction y de Metodologías Ágiles en el proceso de instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados dará lugar a un incremento sustancial en la eficiencia operativa, así como a una reducción de costos significativa. Esta combinación se traducirá en un retorno de inversión (ROI) positivo. Además, el éxito en la implementación de estas metodologías podrá ser cuantificado y corroborado mediante indicadores clave de rendimiento (KPIs) específicos, demostrando así que la inversión realizada produce beneficios económicos concretos y sostenibles durante todo el ciclo de vida del proyecto.

3.2. Definición conceptual de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN
Variable Independiente (VI)	Se trata de un enfoque organizativo fundamentado en los principios del método Lean, específicamente adaptado al sector de la construcción, y se caracteriza por su objetivo de minimizar las pérdidas. Esta adaptación contribuye significativamente a optimizar la gestión en proyectos de construcción, lo cual se traduce en un incremento en la productividad.
La metodología Lean Construction	
Variable Dependiente (VD)	Se refiere a la infraestructura empleada para el tratamiento de residuos biocontaminados, mediante la aplicación de tecnologías, métodos o técnicas diseñadas para alterar las características físicas, químicas o biológicas de los desechos sólidos. El objetivo de este tratamiento es reducir la carga biológica de los residuos a niveles prácticamente nulos.
Instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados	

3.3. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente (VI)	Lean Construction es un enfoque de gestión adaptado de la industria manufacturera para optimizar el sector de la construcción. Su meta es eliminar desperdicios y redundancias, reducir costos, mejorar la calidad y eficiencia, y acelerar la entrega de proyectos.	Lean Construction emplea prácticas, herramientas y técnicas específicas, como el "Last Planner System" y métricas de rendimiento, para mejorar la planificación y eficiencia en proyectos de construcción. También incorpora tecnologías avanzadas, como BIM, para facilitar la toma de decisiones basada en datos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planificación ✓ Rendimiento ✓ Eficiencia de Proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nivel de uso del "Last Planner System", eficacia en la planificación Tasa de desperdicio ✓ seguimiento de KPIs ✓ Retorno de inversión (ROI), reducción en el tiempo de ciclo, tasa de desperdicio.
La metodología Lean Construction				
Variable Dependiente (VD)	La instalación de una planta para tratar residuos biocontaminados es un proyecto multidisciplinario enfocado en neutralizar agentes patógenos y contaminantes biológicos, conforme a las normativas ambientales y de salud pública.	La instalación de una planta de tratamiento implica múltiples fases, desde estudios de viabilidad hasta construcción, e incluye selección de sitio, obtención de permisos, definición de procesos, adquisición de equipos, y contratación y formación de personal.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo ✓ Factibilidad económica ✓ Calidad del Tratamiento de Residuos ✓ Satisfacción del cliente 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo hasta que la instalación este Completa. ✓ Presupuesto vs Gasto Real. ✓ Medidas de la eficacia del tratamiento. ✓ Encuesta de satisfacción del cliente.
Instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados				

Tabla 3.2. Operacionalización de las variables

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación se ejecuta bajo un enfoque experimental, orientado a manipular variables con relaciones causales para generar nuevas perspectivas que enriquezcan el objeto de estudio. En contraposición, la investigación aplicada tiene como finalidad emplear los hallazgos experimentales en el desarrollo de tecnologías prácticas para abordar problemáticas sociales.

La línea de investigación adoptada se centra en la ingeniería y la innovación, clasificándose como aplicada. Se ha ideado un sistema de trabajo para abordar los desafíos asociados con retrasos y sobrecostos en la instalación de plantas de tratamiento de residuos biocontaminados. Esta estrategia se implementó específicamente en el Hospital de Pucallpa, y su eficacia se evaluó mediante un estudio empírico.

4.1.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación que se empleará es el experimental, dado que este tipo de diseño permite la manipulación intencionada de la variable independiente y la observación subsiguiente de sus efectos sobre una o más variables dependientes.

4.1.3 Método de la investigación

El objeto de esta investigación es el diseño y la optimización en la gestión de proyectos. Se recolectan datos mediante fichas que

registran el cumplimiento de los procesos conforme al modelo de gestión propuesto. Posteriormente, se evalúa la eficacia del modelo y se investiga la correlación entre las variables implicadas.

4.1.4 Población y muestra

4.1.4.1. Población

Para la realización de esta investigación, la población objeto de estudio comprende a los equipos de trabajo involucrados en la instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados en el Hospital de Pucallpa.

4.1.4.2. Muestra

Para la determinación de la muestra, se empleará un enfoque no probabilístico, dado que no se recurrirá a fórmulas estadísticas para la selección de una muestra representativa. Según Sampieri et al. (2014), la muestra no probabilística se caracteriza por "la elección de sujetos o casos 'típicos' en diversas investigaciones cuantitativas y cualitativas, sin aspirar a que sean estadísticamente representativos de una población específica".

En el contexto de esta investigación, la muestra coincide con la población total, que asciende a 32 trabajadores.

4.1.5 Lugar de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Hospital Regional de Pucallpa, situado en la calle Agustín Cauper 285, en el Distrito de Calleria, Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa.

4.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

4.2.1 Técnica para recolección de información

Las técnicas aluden a los métodos que el investigador empleará para la recolección de datos pertinentes al tema bajo estudio. En este caso, se utilizará la técnica de observación, que implica el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables. Dado el enfoque de la investigación, se llevará a cabo la recopilación de datos en función de los indicadores de gestión propuestos por Lean Construction.

4.2.2 Análisis y procesamiento de datos

El análisis de los datos se llevará a cabo mediante una matriz de datos y se utilizará software especializado para este fin. Tras la recolección de los datos cuantitativos, estos serán procesados utilizando software de análisis estadístico. En particular, se emplearán Microsoft Excel 2019 como herramientas tecnológicas de apoyo para la presentación de resultados, tablas y gráficas. Se aplicarán métodos de estadística descriptiva y se establecerán modelos de correlación entre las variables independientes y dependientes.

a. Estadística descriptiva

La primera etapa consiste en describir los datos, valores o puntuaciones asociadas con cada una de las variables. Se presentarán estadísticas descriptivas para los resultados obtenidos en cada variable, utilizando tanto gráficas como estadísticas básicas.

b. Estadística Inferencial

Sampieri et al. (2014) señalan que la estadística inferencial permite al

investigador probar o verificar sus hipótesis y realizar estimaciones (p. 47). En consecuencia, someteremos nuestras hipótesis a prueba mediante la aplicación de pruebas estadísticas, ya sean paramétricas o no paramétricas.

4.2.3 Diseño de la solución

Para el diseño del modelo se implementará la metodología de Lean Construction. La rigurosa aplicación de esta estrategia asegurará una instalación adecuada de la planta de tratamiento de residuos biomédicos.

V. RESULTADOS

5.1. Descripción de la empresa

ENVIRO ANDINOS SAC es una empresa peruana que se especializa en proveer soluciones integrales para la instalación y el desarrollo de ingeniería de plantas dedicadas al tratamiento de residuos biocontaminados.

✓ Misión

Proveer soluciones integrales y sostenibles de alta calidad en la instalación y desarrollo de ingeniería de plantas para el tratamiento de residuos biocontaminados, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y a la salud pública en Perú."

✓ Visión

Ser líderes en el mercado peruano en la ingeniería e instalación de plantas de tratamiento de residuos biocontaminados, reconocidos por nuestra excelencia técnica, compromiso ambiental y aporte constante a comunidades seguras y sostenibles.

5.2. Descripción del proyecto

El proyecto para la instalación de una planta de tratamiento de residuos hospitalarios en el Hospital Regional de Pucallpa contempla la instalación de los siguientes equipos:

- Dos autoclaves con capacidad de 4000 litros cada uno.
- Un triturador.
- Dos tippers (volteadores).
- Un sistema especializado para el tratamiento de olores.
- Un caldero.
- Un sistema destinado al tratamiento de agua blanda.

Dicha instalación se llevará a cabo en un área de 620 m², siguiendo

las directrices estipuladas por la norma técnica en salud NTS 144-2018.

Los análisis presentados en esta tesis están delimitados al ámbito de acción de la empresa Enviro Andinos SAC, que se especializa en la ingeniería e implementación de plantas para el tratamiento de residuos hospitalarios. Se ha adoptado la filosofía Lean Construction para el desarrollo del proyecto, centrando la atención en tres etapas clave del sistema Lean de entrega de proyectos: construcción Lean, control de producción y trabajo estructurado.

Dentro de la fase de construcción Lean, se aplican las siguientes herramientas:

❖ **First Run Studies:** Este proceso implica el análisis y la planificación inicial del proyecto. En esta herramienta, se incluyen aspectos como la sectorización y el diseño del flujo de actividades, ambos contribuyendo al dimensionamiento de cuadrillas.

❖ **Nivel General de Actividad:** Esta herramienta se utiliza para el estudio de procesos a nivel general, lo que permite obtener ratios de trabajos productivos, contribuyentes y no contribuyentes.

❖ **Carta de Balance:** Esta herramienta se emplea para analizar una partida específica y proporciona información sobre cómo se distribuye el tiempo de trabajo en cada actividad por parte del personal.

Dentro de la fase de control de producción, se emplean las siguientes herramientas:

❖ **Last Planner System:** Esta herramienta, orientada al control de producción, abarca el planeamiento, programación y control de un proyecto. En el contexto del proyecto, se aplicaron componentes específicos del Last Planner System, como la planificación maestra, el lookahead, la planificación semanal, el porcentaje de

plan completado y el análisis de las causas de no cumplimiento.

En cuanto al trabajo estructurado, se implementó la siguiente herramienta:

❖ **Buffers:** Esta herramienta contribuye a mantener un flujo constante en el proyecto, proporcionando soluciones alternativas frente a los desafíos originados por la variabilidad en la construcción.

A continuación, se describen con mayor detalle estas herramientas, destacando su proceso de desarrollo, implementación y uso en el proyecto.

5.3. Sectorización

La sectorización se inicia una vez que se han completado los metrados pertinentes al proyecto. Esta actividad es crucial para avanzar hacia otras etapas del proyecto, tales como la formación de trenes de trabajo, planificación, programación y dimensionamiento de cuadrillas. Dada que la programación maestra se basa en los sectores como unidad mínima, es esencial determinar la cantidad de sectores. Esta cifra puede variar, especialmente en áreas como sótanos o en tareas críticas con avances más lentos.

ENVIRO ANDINOS SAC es el primer proyecto en el que se está aplicando este procedimiento, y dado que es una actividad necesaria en todo el proceso de planificación e instalación, se ha introducido el concepto de mejora continua en esta actividad. El objetivo es estandarizar el proceso de sectorización en los proyectos futuros de la empresa. Como resultado de este enfoque, se ha desarrollado el siguiente procedimiento específico para la sectorización de proyectos de edificación, que es el campo en el que se especializa la empresa.

Dado que la sectorización parte de tener los metrados listos, el primer

paso a realizar es proponer un número tentativo de sectores. Cabe señalar que la cantidad de sectores dependerá de las dimensiones del proyecto, la cantidad de personal que se espera tener en obra y el procedimiento de instalación que se llevará a cabo. En función de estos factores, se propone un número de sectores y luego se procede a calcular el metraje correspondiente a cada sector.

En esta etapa, hay partidas clave, como la instalación de la línea de vapor, que tiene una producción máxima diaria determinada por la tecnología seleccionada para el roscado e instalación. No se logrará incrementar ese valor simplemente añadiendo más personal a la partida. Por lo tanto, el metraje de la línea de vapor en el día deberá ser igual o menor al máximo posible según los rendimientos obtenidos en otras obras.

Si el número de sectores cumple con las condiciones previamente mencionadas, procedemos a dibujar los sectores en las plantillas que utiliza nuestra empresa (planos creados en Excel). En esta etapa, se trata de dividir el plano en el número de sectores necesario, asignándoles una secuencia lógica y cierto orden. Además, buscamos equilibrar los metrajes para que sean lo más similares posible entre sí, dado que es poco probable que en cada sector se obtenga un metraje idéntico a los demás. Este balance se logra utilizando como base una parte del plano en Excel y añadiendo o eliminando elementos para que coincidan con el sector siguiente.

Luego de describir el procedimiento que nuestra empresa sigue para llevar a cabo esta tarea, nos adentramos en el caso específico del proyecto en estudio. Para este proyecto, se estableció una sectorización inicial de 3 sectores. La elección de un número menor de sectores reduce el tiempo de duración del proyecto; sin embargo, es necesario considerar aspectos relacionados con el proceso de instalación. Es por esta razón que la sectorización se realizó con el

número mínimo de sectores posible, de acuerdo con las necesidades del proceso de instalación.

Según la sectorización en 3 sectores, se dividió las actividades por día de la siguiente manera:

❖ **Primer Día:**

- Montaje de equipos
- Fijación de equipos principales

❖ **Segundo Día:**

- Instalaciones mecánicas de vapor

❖ **Tercer Día:**

- Instalaciones mecánicas de vapor

❖ **Cuarto Día:**

- Instalaciones mecánicas de venteo de vapor

❖ **Quinto Día:**

- Instalaciones sanitarias – agua

❖ **Sexto Día:**

- Instalaciones sanitarias – drenaje

❖ **Séptimo Día:**

- Instalaciones eléctricas

5.4. Tren de Actividades

En los proyectos de la empresa, y en particular en el proyecto

mencionado, se busca implementar el concepto de las curvas de aprendizaje. Según este concepto, el trabajo repetitivo conduce a una especialización que mejora la productividad en dicho trabajo. Para lograr esto, se utiliza principalmente el tren de actividades, el cual requiere que previamente se haya realizado el procedimiento de sectorización.

El tren de actividades permite asemejar el sistema de instalación a uno mucho más industrializado, similar al uso de líneas de ensamblaje. Este concepto se adapta a la construcción. En los proyectos de ENVIRO ANDINOS SAC, se crea el tren de actividades para todas las partidas que se utilizarán en la obra. Esto se logra estableciendo una secuencia lineal y correlativa entre los sectores y los pisos, de manera que las cuadrillas avancen por el lugar de trabajo de la misma manera que un producto lo haría en una línea de ensamblaje de una fábrica.

La aplicación del tren de actividades se puede observar en el Lookahead y en las programaciones semanales que se mostrarán en las siguientes páginas. A modo de ejemplo y para ilustrar la secuencia en los proyectos de edificación de manera más clara, se presenta el siguiente ejemplo de un tren de trabajo en 4 sectores.

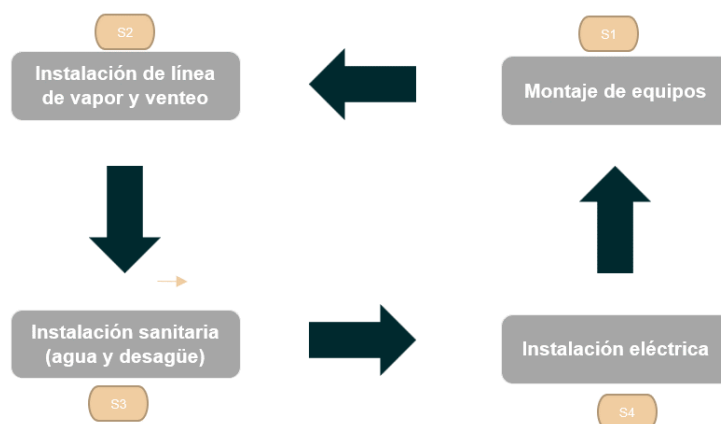


Figura 5.24. Ejemplo de sectorización (fuente propia)

5.5. Dimensionamiento de Cuadrillas Mediante el Circuito fiel

En la construcción convencional, a menudo es el maestro de obra quien decide el número de obreros a contratar, lo que, en la mayoría de los casos, resulta en un exceso de personal en la obra y, por lo tanto, reduce los niveles de Trabajo Productivo.

La falta de una metodología definida para calcular la cantidad de personal necesaria en la obra genera incertidumbre en caso de retrasos. No se sabe si se necesita aumentar la velocidad de producción o contratar más personal, y generalmente se intenta resolver este tipo de problemas incrementando el número de obreros a discreción del maestro. Además, esto conduce a proyecciones deficientes en el uso de la mano de obra y reduce el poder de negociación que podríamos tener con ellos para cumplir con las metas del proyecto.

Ante todas estas deficiencias identificadas en la contratación de personal en la metodología tradicional de construcción, se ha desarrollado un procedimiento para el dimensionamiento de cuadrillas que se alinea con los principios de la filosofía Lean Construction. Este procedimiento tiene como objetivo eliminar todas las deficiencias mencionadas y brindarnos un control total sobre la cantidad de personal en nuestra obra.

Este procedimiento, conocido como el "Circuito Fiel," tiene como finalidad calcular el número exacto de personas necesarias para llevar a cabo una actividad (partida) y cumplir con los rendimientos establecidos al inicio del proyecto, garantizando así una mayor productividad en comparación con el promedio.

Para llevar a cabo el Circuito Fiel, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Una vez realizada la sectorización, se obtienen los volúmenes de

trabajo para las distintas cuadrillas que se utilizarán en la obra. Como se mencionó en la parte de sectorización, lo ideal es que los volúmenes de trabajo sean iguales en cada sector, aunque esto es casi imposible de lograr. Sin embargo, se pueden obtener metrados muy similares.

Los metrados por sectores son el punto de partida para utilizar el Circuito Fiel en el proceso de dimensionamiento de cuadrillas. A través de esta herramienta, se busca minimizar la cantidad de personal obrero en el proyecto, contratando solo la cantidad necesaria para ejecutar cada partida de nuestro presupuesto. Otro aspecto crucial para el uso de esta herramienta es el rendimiento presupuestado. En este punto, se incorpora la capacidad de la empresa para realizar los trabajos de manera más productiva mediante la filosofía Lean Construction, lo que hace que los rendimientos presupuestados sean más bajos o más productivos que los promedios del sector.

El rendimiento presupuestado, influenciado por los principios Lean, se convierte en la meta que debemos cumplir o superar en nuestra obra. Esto sirve como punto de partida para la aplicación del Circuito Fiel. Con todas estas consideraciones y requisitos establecidos, procederemos a describir la metodología o el procedimiento de uso del Circuito Fiel.

Procedimiento:

- a) Se elige la partida para la cual se desea dimensionar la cuadrilla.
- b) Se establece el número de horas diarias trabajadas. En el caso de ENVIRO ANDINOS SAC, se consideran un total de 9.6 horas, ya que solo se toman en cuenta los trabajos de lunes a

viernes.

- c) Calculamos el costo en horas hombre (HH) para tener una idea del ahorro o la pérdida que podría representarnos incluir a más personas de las necesarias en la cuadrilla.
- d) A partir de los análisis de precios unitarios, se toma el rendimiento presupuestado correspondiente a la partida seleccionada.
- e) Dado que ya hemos elaborado el tren de trabajo, que en nuestro caso implica 1 sector al día, procedemos a asignar el metrado correspondiente a cada día según los sectores.
- f) Dado que el personal se mantiene constante, las horas de trabajo por día siempre serán el número de personas multiplicado por 9.6 horas.
- g) Con todos estos datos, elaboramos la tabla mostrada anteriormente, que incluye las HH diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados, y el rendimiento presupuestado.
- h) Una vez elaborado el cuadro, se sabe que las horas hombre (HH) diarias dependen del número de trabajadores. Por lo tanto, esta herramienta consiste en realizar iteraciones con un número específico de trabajadores y comparar el rendimiento obtenido con el rendimiento presupuestado. De esta manera, podemos asegurarnos de que no se sobredimensione una cuadrilla.

5.6. Last Planner

El Last Planner nos permite controlar la obra desde la planificación general hasta la ejecución de las actividades en el campo, utilizando

varios niveles de programación que fueron descritos previamente.

En nuestro proyecto, se implementaron todas las etapas de planificación y programación recomendadas por este sistema. A continuación, se presenta la metodología utilizada en cada una de ellas.

5.6.1 Planificación maestra

La Planificación Maestra es bastante similar a la Planificación general de obra que se realizaba con la metodología tradicional de construcción porque busca prever lo que ocurrirá durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre los dos tipos de planificación que le brinda mayor confiabilidad a la planificación maestra. La diferencia que mencionamos es que en la construcción tradicional se utiliza una planificación general de obra en la cual se detalla hasta el último aspecto de la planificación, lo que permite conocer detalles como qué viga se verterá en un día específico, entre otras cosas. En contraste, el Last Planner presenta una planificación basada en hitos, en la cual no se entra en tanto detalle para saber qué se hará cada día, sino que se establecen hitos (fechas límite) que se deben cumplir. Para lograr este objetivo, propone otras herramientas de planificación más detallada.

Al analizar la planificación maestra del proyecto, se observa que el proyecto comenzó el lunes 26-12-2012 y tiene una duración aproximada de 1 mes, culminando el 26-01-2013. Como se mencionó, esta es una planificación basada en hitos, y los hitos más importantes para este proyecto son el movimiento de tierras, la estabilización de taludes, la cimentación, la subestructura, la superestructura, los acabados, las instalaciones y el ascensor. Centrándonos en la etapa en estudio, que es el casco de la estructura, podemos ver que este hito tiene como fecha de inicio el 27/03/2012 y fecha de finalización

el 09/07/2012. Dentro de la superestructura, que es donde se realizaron las mediciones de productividad, se consideran los pisos como sub-hitos, los cuales se detallarán más adelante en el Lookahead y las programaciones semanales.

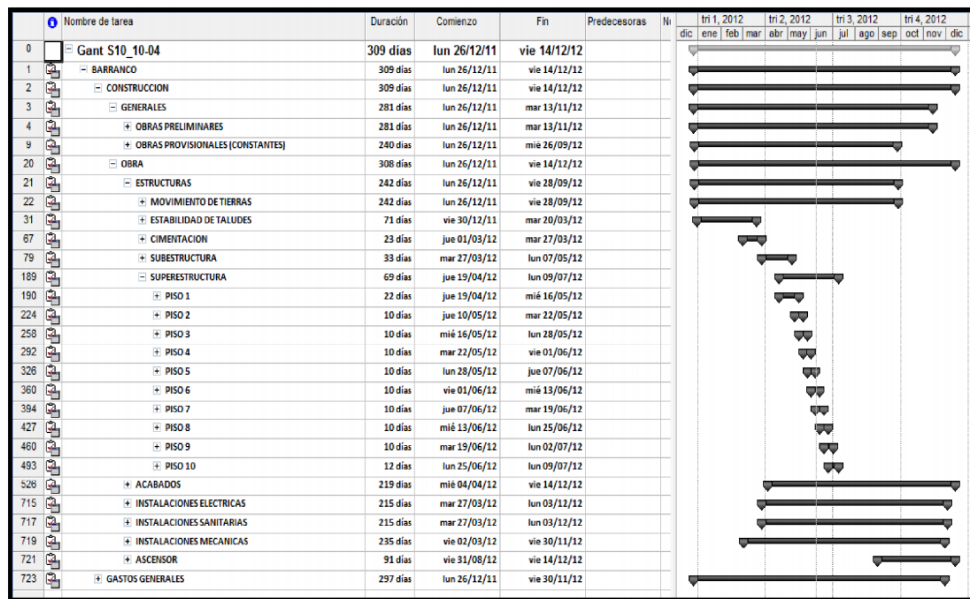


Figura 5.25. Programación Maestra por Hitos del proyecto

5.6.2 Lookahead Plan

El Lookahead es una programación intermedia del sistema Last Planner, y su duración depende principalmente de dos factores: el horizonte máximo de variabilidad para el proyecto y el tiempo mínimo necesario para levantar las restricciones. El encargado de realizar el Lookahead en nuestro caso es el Ing. Residente, y la duración de estos es de 4 semanas. El Lookahead de 4 semanas se considera un estándar en ENVIRO ANDINOS SAC, ya que, al realizar proyectos de edificaciones en Lima, la variabilidad no es tan alta como en proyectos en el interior del país, y 4 semanas es un tiempo prudente para resolver todo tipo de restricciones.

En el primer formato, se muestra el Lookahead de las semanas 22 a

LOOKAHEAD/ANÁLISIS DE RESTRICCIONES/RECURSOS																																						
CÓDIGO DE PROYECTO		ÁREA / OFICINA		REDA																																		
20		EDIFICACIONES		viernes, 27 de abril de 2012																																		
NOMBRE DE PROYECTO		CALLE		UBICACIÓN																																		
EDIFICIO BARRANCO 360		PROYECTO PROPIO		AV. SAN MARTÍN N° 625																																		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD/RESTRICCIÓN/RECURSOS	DESCRIPCIÓN DE ACTIVO	UNO	RESPONSABLE	SEMANA 21							SEMANA 22							SEMANA 23							SEMANA 24							SEMANA 25						
				L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
				30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02
CISTERNA																																						
Barridos Impermeabilizante de cisterna (baldes y base)	AP	CONSH	CONSH																																			
Asfaltar Impermeabilizante	DMP																																					
Armas Fijas	DMP																																					
Barridos Impermeabilizante de cisterna (baldes y base)	MAL																																					
SUBESTRUCTURA																																						
Acera De Veredas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Acfido De Acera	GC																																					
Asfalto De Bordo De Acera	AP																																					
Ingreso del corno dimensionado	GC																																					
Escalado De Veredas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Asfalto (veredas)	GC																																					
Aligeras De Concreto	GC																																					
Concreto De Veredas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Concreto Primerizado	GC																																					
Escalado De Fondeo Y Conado De Vigas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Ingreso de cuadrilla extra de encofrado horizontal	AP																																					
Acera De Vigas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Asfalto De Bordo De Acera	AP																																					
Ingreso del corno dimensionado	GC																																					
Cobertura Viguetas Pretensadas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Cobertura De Casetones	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Lechado De Trocho	GC																																					
Viguetas Pretensadas	GC																																					
Cobertura De Bordes, Banchos Y Veredas	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Concreto De Lona	AP			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Concreto Primerizado	GC																																					

Figura 5.27. Lookahead de Obra Proyecto Barranco (Fuente: EASAC)

5.6.3 Programación semanal

Las programaciones semanales se generan a partir de la expansión de la planificación intermedia o Lookahead. En nuestro caso, estas programaciones se llevaban a cabo todos los viernes en una reunión entre el Ingeniero Residente y los ingenieros del equipo de obra. El Ingeniero Residente era el responsable de elaborar el Lookahead, mientras que el Ingeniero de Campo, en coordinación con el Ingeniero de Oficina Técnica, se encargaba de gestionar los recursos y asignar los responsables para levantar las restricciones. En cada reunión, se establecían las actividades que se programarían en la semana, asegurándose de que las restricciones previas ya se hubieran levantado.

Una vez definidas las actividades sin restricciones, se procedía a determinar la cantidad de trabajo que se asignaría a cada cuadrilla durante la semana. Esta cantidad de trabajo ya se había establecido previamente en el Lookahead, pero se verificaba nuevamente debido a posibles cambios en las condiciones laborales, como una menor

disponibilidad de mano de obra o un mayor avance requerido, entre otros.

Una característica especial de las programaciones semanales en la obra era la inclusión de buffers de tiempo en la programación. Esto significaba que la programación real solo se realizaba para cinco días a la semana, es decir, de lunes a viernes. Se dejaba mediodía del sábado para cumplir con algunas actividades programadas que no se hubieran completado durante la semana. La introducción de estos buffers de tiempo condujo a una notable mejora en el PPC (porcentaje de plan cumplido) y, por lo tanto, a una mayor confiabilidad en la programación semanal, lo que tenía un impacto positivo en el cumplimiento de los plazos del proyecto.

El formato de programación semanal utilizado en la empresa incluía una sección destinada al seguimiento de las restricciones. Esta sección funcionaba como un recordatorio para asegurarse de que cada actividad agregada a la programación semanal estuviera libre de restricciones.

5.6.4 Programación diaria

En nuestro proyecto y como parte de la filosofía de la empresa, la programación diaria es elaborada por el Ingeniero de Campo, quien desempeña el papel del Último Planificador. Esto se lleva a cabo en coordinación con el equipo de obra, que incluye al Supervisor, la oficina técnica, el especialista en prevención y el maestro de obra. Estas reuniones se realizan al finalizar la jornada laboral, ya que en ese momento se conoce el avance real logrado durante el día y si se cumplieron las actividades programadas previamente. Puede suceder que algunas actividades no se ejecuten o se completen durante el día, lo que requiere su inclusión en la programación del día siguiente.

La programación diaria que empleamos en la empresa consta de dos partes: una representación gráfica en la que se muestra lo programado en un plano con colores distintivos para facilitar la identificación en el campo, y una descripción escrita que detalla todas las actividades planificadas para el día, así como las personas responsables de cada tarea.

Una vez elaborada la programación diaria, es firmada por los principales responsables de producción, es decir, el Ingeniero de Campo y el maestro de obra. Luego, se deja lista para ser entregada a los capataces de cada cuadrilla al comienzo de la jornada laboral del día siguiente, garantizando así que todos los involucrados en el proceso dispongan de la información necesaria sobre el trabajo que deben realizar.

A continuación, se muestra un ejemplo de la representación gráfica de una programación diaria, en la que se ilustran las actividades asignadas a cada cuadrilla para el día. Esta representación gráfica se complementa con una descripción detallada que se puede consultar en los anexos.

Como puede observarse, tanto en las programaciones diarias como en otras herramientas, como la sectorización, la empresa utiliza dibujos de los planos de la obra realizados en Excel. Esta metodología de dibujo en Excel es una práctica efectiva dentro de la empresa debido a su versatilidad y facilidad de uso en comparación con el software de AutoCAD.

5.6.5 Análisis de Restricciones

El análisis de restricciones es esencial; podemos afirmar que es la herramienta que otorga significado al Lookahead. Sin este análisis, el Lookahead sería simplemente una programación intermedia, incapaz

de crear un escudo que proteja el proyecto de las variaciones del entorno. En consecuencia, no contribuiría a la confiabilidad de los procesos de planificación y programación.

Como se mencionó anteriormente, en la empresa se utilizan dos formatos de análisis de restricciones. Uno de ellos se integra en el Lookahead Planning y es conocido como "Lookahead de obra". El segundo es un formato sencillo en Excel, donde las restricciones se agrupan por partidas. Para cada restricción, se asigna un responsable y se indica la fecha de levantamiento de la misma. Este último formato es el utilizado para analizar todas las restricciones en el sistema Last Planner.

Este análisis se realiza los sábados, tras concluir el Lookahead. Se enfoca principalmente en la última semana del Lookahead, ya que es la que se incorpora a la programación intermedia. Además, se efectúa un seguimiento a las restricciones introducidas en semanas previas. De esta manera, cuando se proceda a la programación semanal, contaremos con un conjunto de actividades libre de restricciones, listo para avanzar a la siguiente fase de programación

NOMBRE DE PROYECTO		AREA / DPTO		FECHA:		
BARRANCO 360		EDIFICACIONES		sábado 21 de abril de 2012		
CODIGO DEL PROYECTO		PROPIETARIO		UBICACION		
15		EDIFICA CONSTRUCTORES SAC		AV. SAN MARTIN 625		
Cantidad	Unid.	Actividad	Fecha que se debe realizar	Descripción de la Restricción	Fecha Requerida en Obra	Responsable
GRUA TORRE						
1	GLB	Carga para funcionamiento de Grúa Torre	07-may-12	Ampliación de carga de medidor y aislador de transformador para Grúa Torre - Se	08-may-12	Ing. Gustavo Cabellos
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	30-may-12	Segundo mantenimiento de Grúa Torre.	30-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	11-may-12	Compra de combustible cada 5 días para funcionamiento de Grupo Electrogéneo	11-may-12	Ing. Gustavo Cabellos
1	GLB	Funcionamiento de Grúa Torre	18-may-12	Compra de combustible cada 5 días para funcionamiento de Grupo Electrogéneo	18-may-12	Ing. Gustavo Cabellos
VIGUETAS Y LADRILLO BOVEDILLA						
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	10-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	10-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	17-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	17-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Colocación de viguetas pretensadas y ladrillo bovedilla	24-may-12	Enviar cronograma de entrega de material por sector cada semana	24-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Confirmación de pedidos de viguetas y ladrillo	07-abr-12	Confirmar pedido diario	07-abr-12	Ing. Gustavo Cabellos
TENSADO DE MUROS PANTALLAS						
1	GLB	Despejado de muros pantalla correspondiente al 2do anillo	07-may-12	Enviar cronograma a Terratec y destensar los muros de 2do anillo	09-may-12	Ing. Gustavo Cabellos
HABILITACION DE ACERO						
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	08-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 1	08-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	08-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 2	08-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	10 may 12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 3	10 may 12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 2do piso	10-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 2 sector 4	10-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	12-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 1	12-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	12-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 2	12-may-12	Ing. Arturo Pineda
1	GLB	Acero dimensionado 3er piso	15-may-12	Llegada de acero dimensionado a obra del piso 3 sector 3	15-may-12	Ing. Arturo Pineda

Figura 5.28. Análisis de Restricciones Lookahead

(Fuente: EASAC)

Según la GEPUC las restricciones se agrupan en 11 tipos según la siguiente tabla:

TIPOS DE RESTRICCIONES		
N°	Código	Descripción
1	MAT	Materiales
2	DIS	Diseño
3	MO	Mano de Obra
4	INS	Inspección
5	DOC	Documentación
6	EQ	Equipos
7	HZT	Habilitación Zona Trabajo
8	SEG	Seguridad
9	AMB	Ambiental
10	SC	Subcontratos
11	OTRO	Otros

Figura 5.29. Tipos de Restricciones
(Fuente: GEPUC)

En el caso de las partidas del casco analizadas en este estudio, se ha recopilado la información sobre todas las restricciones presentadas a lo largo del proyecto. Así, se ha creado un catálogo que ofrece un listado exhaustivo de estas restricciones, con el propósito de prevenir interrupciones en el flujo de trabajo.

RESTRICCIONES					
N°	Restricción	Etapa de ocurrencia			Categoría
		Inicio	Durante	Final	
1	Busqueda de Personal para la cuadrilla				MO
2	Enviar a Examen Medico Pre ocupacional				MO
3	Definir Personal que ingresara a laborar				MO
4	Tramitar seguro SCTR				DOC
5	Charla de Inducción general				SEG
6	Charla de inducción por cuadrillas				SEG
7	Analizar proveedores de Concreto				OTRO
8	Definir proveedor				SC
9	Definir Tipos de concreto a usar				MAT
10	Definir Cantidades de concreto a usar				MAT
11	Realizar Programa estimado de vaciados de obra				OTRO
12	Realizar Programa mensual de vaciados de obra				OTRO
13	Definir volumen diario a vaciar				OTRO
14	Realizar el pedido diario de concreto				OTRO
15	Analizar resultados de ensayos de probetas				OTRO
16	Enviar a ensayar probetas				OTRO
17	Pedido de Vibradoras				EQ
18	Pedido de reglas de aluminio				EQ
19	Pedido de accesorios para la Grúa (Vaciados con Chute)				EQ
20	Solicitar Montante de tuberías				SC
21	Inspecciones de Seguridad (equipos)				SEG
22	Charlas preventivas de seguridad				SEG
23	Elaboración de ATS				SEG
24	Revisión de ATS				INS
25	Revisión de andamios				INS
26	Revisión de permisos de trabajo en altura				INS
27	Colocación de Línea de Vida				SEG
28	Entregar Programación semanal				OTRO
29	Pedido de aditivo Curador				MAT
30	Pedido de equipo para aplicar Curador				EQ
31	Liberación actividades precedentes				HZT

Figura 5.30. Catálogo de Restricciones de la partida de Concreto
(Fuente: Propia)

5.6.6 Lecciones Aprendidas

La filosofía de la Lean Construction aspira a perfeccionar el proceso de producción en el ámbito de la construcción, mediante una variedad de herramientas y conceptos teóricos. Al igual que otras filosofías enfocadas en aumentar la productividad, incorpora el principio de mejora continua, conocido como Kaizen. Esta filosofía valora especialmente el concepto de Kaizen por ser uno de los pilares fundamentales del Sistema de Producción Toyota (TPS), raíz de muchas teorías de producción contemporáneas.

Para gestionar eficazmente el Kaizen, se ha desarrollado una herramienta denominada "lecciones aprendidas". Esta herramienta permite llevar un registro detallado de los problemas surgidos en obra, así como las soluciones reactivas y proactivas adoptadas para cada situación. A partir de este registro y al tomar conciencia de las repercusiones de estos problemas en el proyecto, el equipo de obra se sensibiliza. Este proceso de concientización es intrínseco a la mejora continua: al reconocer las consecuencias adversas de un problema, se adoptan soluciones proactivas para prevenir su recurrencia, afinando la metodología de construcción conforme a los lineamientos de la Lean Construction.

A continuación, se presenta el formato de "lecciones aprendidas" empleado en el proyecto. En este formato, se detallan semanalmente todos los problemas, soluciones reactivas y proactivas. Al concluir cada proyecto, es una práctica recomendable consolidar estas lecciones a nivel general del proyecto, destacando aquellos puntos cruciales que beneficiarán no solo al proyecto, sino a la evolución de la empresa en su proceso de mejora continua.

En el formato se especifica la partida correspondiente, la descripción del problema, las medidas correctivas, las recomendaciones y una fotografía ilustrativa. Cabe señalar que, mientras la medida correctiva

aborda la solución reactiva, la recomendación enfatiza la solución proactiva; siguiendo estas recomendaciones, se busca evitar la reparación del problema en cuestión.



ITEM	PARTIDA	FECHA	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS CORRECTIVAS	RECOMENDACIÓN	PANEL FOTOGRAFICO
1ro	ENCOFRADO / CONCRETO		NO HUBO UN MUY BUEN ACABADO EN LAS CARAS DE LAS PLACAS O COLUMNAS DEBIDO A LOS ESCANTILLONES.	SE COMPRO UNOS CHUPONES PARA ENCOFRADO PARA ASI TENER UN MEJOR ACABADO.	UTILIZAR LOS CHUPONES DE ENCOFRADO DESDE EL PRINCIPIO.	
2do	ACARREO		AL MOMENTO DE REALIZAR EL ACARREO DE VIGUETAS NO HIZO UNA SELECCIÓN DE LAS MISMAS.	SE TUVO SELECCIONAR LAS VIGUETAS PARA COLOCARLAS DE UNA MANERA ORDENADA, ES DECIR UBICARLAS POR TIPO DE VIGUETA.	CUANDO SE REALICE EL ACARREO DE VIGUETAS REALIZAR LA SELECCIÓN DE VIGUETAS Y AGRUPAR LAS QUE SON DE UN MISMO TIPO.	

Figura 5.31. Formato de lecciones aprendidas
(Fuente: EASAC)

5.7. Productividad

5.7.1 Curvas de Productividad

Las curvas de productividad representan una herramienta esencial para el seguimiento y control de la productividad. Estas simbolizan la continuidad de lo establecido al inicio del proyecto a través del uso del "Circuito Fiel" para el dimensionamiento de cuadrillas.

Este instrumento permite analizar a diario los metrados ejecutados y las horas-hombre asignadas a las partidas más relevantes del proyecto. Su objetivo es mantener un registro sistemático de los rendimientos logrados durante la ejecución de la obra, y comparar estos con el rendimiento presupuestado (meta definida en el "Circuito Fiel"). De esta comparación, se deriva un balance de ganancia o pérdida para la partida en cuestión.

Es sabido que la variabilidad juega un papel significativo en los proyectos de construcción. Si este factor no existiera, se cumpliría íntegramente lo proyectado a través del "Circuito Fiel". Sin embargo,

debido a la influencia de la variabilidad y otros problemas inherentes a cada proyecto, la producción diaria puede fluctuar, al igual que el número de trabajadores en la obra, ya sea por incorporaciones o ausencias en la cuadrilla. Las curvas de productividad capturan estos elementos y los presentan en un formato donde la productividad real se mide y se compara con la presupuestada, pudiendo ser esta inferior o superior a lo inicialmente establecido.

Por lo tanto, las curvas de productividad actúan como un registro diario de producción, horas-hombre invertidas y rendimientos. Adicionalmente, se calculan los acumulados, lo que permite contrastar con el rendimiento proyectado y establecer una proyección más acertada de la obra.

CONCRETO EN MUROS, COLUMNAS, PLACAS Y LOSAS											
SEMANA 29						SEMANA 30					
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
25/06/2012	26/06/2012	27/06/2012	28/06/2012	29/06/2012	30/06/2012	02/07/2012	03/07/2012	04/07/2012	05/07/2012	06/07/2012	07/07/2012
22.50	25.00	25.00	25.00	22.50	13.00	20.00	22.50	8.00	22.00	25.00	15.00
1672.50	1697.50	1722.50	1747.50	1770.00	1783.00	1803.00	1825.50	1833.50	1855.50	1880.50	1895.50
45.00	23.50	41.00	45.50	45.50	16.50	36.00	40.00	9.00	33.00	40.00	18.50
2256.73	2280.23	2321.23	2366.73	2412.23	2428.73	2464.73	2504.73	2513.73	2546.73	2586.73	2605.23
0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.50	1.06	0.61	0.55	0.49	0.79	0.56	0.56	0.89	0.67	0.63	0.81
0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73

Figura 5.32. Formato de Curvas de Productividad
(Fuente: EASAC)

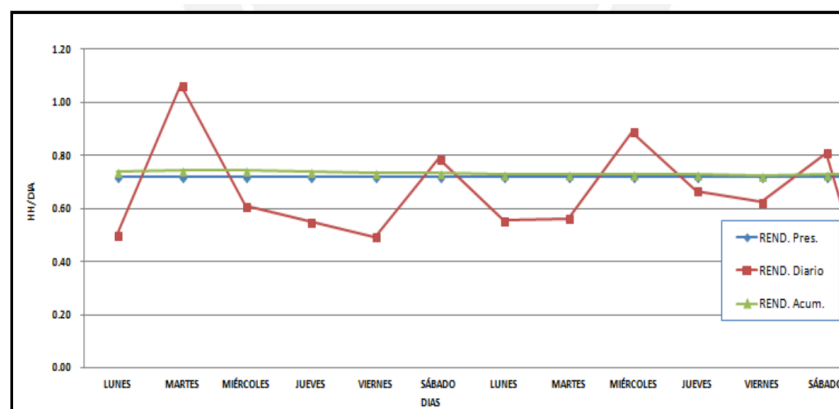


Figura 5.33. Grafico de Curvas de Productividad
(Fuente: EASAC)

5.7.2 Nivel General de Actividad

La herramienta propuesta por la filosofía Lean Construction busca ofrecer una visión global de la productividad en obra y actuar como un indicador de la eficiencia en la realización de los trabajos. Esta herramienta implica el registro de Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC) y Trabajos No Contributorios (TNC) en toda la obra y para cada obrero. Su propósito es proporcionar un indicador fiable del nivel general de productividad.

El "nivel general de actividad" abarca un conjunto de mediciones que determinan el tipo de tarea que un obrero está ejecutando en un momento dado (ya sea TP, TC o TNC). Si es necesario especificar, es posible detallar los tipos de trabajos contributorios y no contributorios observados. Sin embargo, el detalle en el trabajo productivo se omite para evitar una extensa lista que complicaría el proceso. Serpell (1993) señala que, para obtener resultados estadísticamente válidos, se requieren al menos 384 mediciones. En el caso de EDIFICA, se manejan formatos con 400 datos por medición.

Las metodologías de medición pueden variar según el responsable, pero lo esencial es que todos los trabajadores de la obra sean evaluados. Es posible realizar las mediciones desde un punto fijo si este ofrece una vista completa de la obra; de lo contrario, se recomienda recorrer la obra por sectores.

Antes de las mediciones en campo del nivel general de actividad, es necesario preparar plantillas o formatos de medición e identificar las actividades en obra para clasificarlas en grupos de TC y TNC. Estos grupos pueden variar según la naturaleza de la obra y las tareas en curso. No obstante, algunas actividades, como el transporte y las esperas, son comunes en todos los proyectos.

Es fundamental enumerar previamente los Trabajos Contributorios (TC) y No Contributorios (TNC) antes de efectuar las mediciones. Esta anticipación permite una asignación detallada en el momento de la medición, facilitando la obtención de resultados desglosados. En el formato, hay una columna designada para identificar la partida correspondiente a las mediciones, lo que nos posibilita descomponer los resultados por partidas. Sin embargo, dado que estos son resultados generales de la partida, optamos por usar las cartas de balance para el análisis específico de cada una, ya que ofrecen información más detallada en comparación con el NGA.

5.7.4 Cartas de Balance

Las Cartas de Balance constituyen una herramienta sumamente poderosa en el marco del Lean Construction, y esto se debe a que son fundamentales junto con el Last Planner y la Teoría de las Restricciones para asegurar una gestión de obra efectiva. Como se mencionó previamente, el objetivo primordial de la filosofía Lean es alcanzar un sistema de producción eficaz, manteniendo un flujo constante, optimizando dichos flujos y perfeccionando los procesos.

Se sabe que la continuidad del flujo se logra gestionando la variabilidad y utilizando buffers, que integramos mediante el uso del Last Planner. Para conseguir un flujo eficiente, se emplean conceptos de física de producción basados en la Teoría de las Restricciones (TOC). Por tanto, para alcanzar el objetivo propuesto por el Lean Construction, es crucial que nuestros procesos sean eficientes, y aquí es donde las Cartas de Balance se vuelven esenciales.

Estas cartas se enfocan en un proceso específico y lo examinan desde el punto de vista laboral, buscando identificar el tiempo que los trabajadores dedican a cada actividad de la partida. Similar al Nivel General de Actividad (NGA), se categorizan los trabajos en

Productivos (TP), Contributorios (TC) y No Contributorios (TNC). Sin embargo, a diferencia del NGA, las Cartas de Balance desglosan cada actividad, determinando a qué categoría pertenece, para así discernir el tiempo dedicado a cada tarea.

Procedimiento:

El proceso para desarrollar las Cartas de Balance comienza con un análisis riguroso de la obra para seleccionar adecuadamente el proceso o actividad a analizar. Se pueden considerar diversos criterios, como la relevancia presupuestaria de una partida o los resultados operativos. Una vez definida la actividad o partida, se realiza un análisis detallado para identificar los trabajos productivos y contributorios inherentes. Es aconsejable que un experto familiarizado con el proceso constructivo en obra realice este análisis.

Posteriormente, se registran las actividades en la Carta de Balance, asignando un número a cada una y, correlativamente, a cada trabajador según la actividad que desempeñan. Antes de proceder con las mediciones, es necesario registrar a todos los trabajadores. Dado que las mediciones son individuales, es esencial identificar a cada integrante. Se recomienda que un miembro del equipo de obra, más familiarizado con los obreros, realice las mediciones, especialmente si la actividad implica movimientos constantes de los trabajadores.

ras la preparación de las plantillas de medición, se llevarán a cabo las mediciones en campo, atendiendo a los siguientes criterios:

- a. Se analizará a un máximo de 10 obreros, ya que medir una cantidad mayor sería inviable.
- b. Se deberá elegir un punto desde el cual se pueda observar a toda la cuadrilla trabajando. A diferencia del NGA, este proceso es más

sencillo porque las tareas se ejecutan en una zona específica.

- c. Los datos se registrarán para todos los obreros en intervalos preferentes de 1 minuto. No obstante, este intervalo podría reducirse dependiendo de la cantidad de obreros en la cuadrilla.
- d. La metodología de medición implica observar al obrero, identificar la actividad que está desempeñando, buscar el número correspondiente a esa actividad (según la distribución previamente establecida) y asignar dicho número al obrero. Se repetirá este procedimiento con cada trabajador. Se considera una única medición la asignación de un número a cada miembro de la cuadrilla.
- e. En total, se deben completar 384 mediciones para obtener resultados estadísticamente válidos, según Serpell (1993).

CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas luego de la realización de la presente investigación son las que se exponen a continuación:

El Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS, por sus siglas en inglés) propone un total de 42 herramientas distribuidas en sus 5 fases. Sin embargo, en Perú, la filosofía lean se concentra principalmente en tres fases: Construcción Lean, Control de Producción y Trabajo Estructurado. Esto se debe a que son las empresas constructoras quienes están adoptando esta filosofía en su ámbito de ejecución de obras. En este proyecto, se emplearon 9 de las 17 herramientas correspondientes a las tres fases mencionadas. Entre ellas, destaca el Last Planner System, con cinco herramientas orientadas al control de producción, y los First Run Studies para la ejecución lean.

Dentro de los beneficios observados de las herramientas Lean, la sectorización y los trenes de trabajo se destacan por su simplicidad y significativa contribución en mejoras del proyecto comparado con enfoques tradicionales. Estas herramientas transforman la metodología de trabajo, pasando de un sistema push a un sistema pull, acortan tiempos de ejecución gracias a la superposición de actividades y optimizan la productividad al asignar cuadrillas específicas según la tarea. Dada su eficacia, es comprensible que se hayan popularizado más que otras herramientas Lean más complejas.

La implementación de las herramientas Lean en proyectos de construcción, particularmente en edificaciones, ha demostrado ser altamente beneficiosa para el desarrollo del proyecto en términos de productividad, plazo y costo. Sin embargo, es esencial aplicar estas herramientas de manera constante para que sus beneficios sean tangibles.

En las mediciones de productividad efectuadas en la etapa de casco de la obra “Barranco 360°”, los resultados obtenidos superaron a los promedios previamente registrados en mediciones realizadas en obras de Lima en años anteriores. Aunque aún queda un margen de mejora, especialmente al comparar con estándares internacionales, es evidente la relevancia de implementar la filosofía Lean en obras de construcción.

Las mediciones de las cartas de balance indicaron la posibilidad de optimización en las cuadrillas, lo que resultó en ahorros significativos. Es crucial realizar estas mediciones ya que, aunque se hagan cálculos teóricos previos, las condiciones en el campo suelen variar.

En resumen, la implementación de las 9 herramientas Lean en el proyecto “Barranco 360°” ha producido ahorros significativos gracias a una mayor productividad, cumplimiento de plazos y reducción de desperdicios. Cabe reflexionar sobre cuánto más se podría haber logrado con la aplicación de herramientas adicionales.

RECOMENDACIONES

Como trabajos futuros a partir de la presente investigación se puede considerar lo siguiente:

Aunque en el proyecto bajo estudio se han implementado 9 herramientas de la filosofía Lean, es necesario destacar que existe un total de 42 herramientas disponibles. Su aplicación integral podría perfeccionar no solo el proceso constructivo, sino también la gestión completa del proyecto, desde su concepción hasta su utilización. Al examinar en detalle las herramientas propuestas por el Sistema de Entrega de Proyectos Lean, es nuestra recomendación que las empresas inmobiliarias, responsables de la gestión integral del proyecto, apliquen el mayor número posible de estas herramientas. Sin embargo, consideramos que podría no ser viable la aplicación simultánea de todas ellas, y que cada empresa debe adaptar y seleccionar las que mejor se alineen con su estructura y necesidades.

En el contexto específico de la construcción, y para proyectos de características similares, destacamos la relevancia de dos herramientas:

One Touch Handling: Esta herramienta mitiga los desperdicios por inventarios y movimientos superfluos, llevando el producto directamente a su ubicación final. Su aplicación está intrínsecamente ligada al uso de elementos prefabricados e innovaciones en procesos constructivos, lo que contribuye significativamente al crecimiento del sector.

Líneas de Balance: Esta técnica de planificación, alineada con la filosofía Lean, debería suplantar a la tradicional programación con barras (Gantt).

La programación maestra, que constituye el primer nivel del Last Planner System, es similar al enfoque tradicional, pero con un enfoque en hitos en lugar de detalles minuciosos. No obstante, este enfoque general aún no se alinea plenamente con la filosofía Lean. Por ello, se sugiere adoptar un

cronograma general basado en la teoría de líneas de balance.

Adicionalmente, sería beneficioso implementar un control integral de productividad para la obra, a diferencia de los controles actuales que se centran solo en partidas específicas del presupuesto. Esta ausencia de un control holístico puede minar la confiabilidad de los registros actuales.

El enfoque en productividad conlleva a ahorros tanto en mano de obra como en el costo global del proyecto. Por lo tanto, sería conveniente contar con un informe consolidado de costos que refleje los beneficios obtenidos por la obra. Para ello, se propone la implementación de un control de costos exhaustivo.

Finalmente, es esencial estandarizar el uso de ciertas herramientas, como las cartas de balance, desde las etapas iniciales de un proyecto. A pesar de utilizar métodos como el circuito fiel para el dimensionamiento de cuadrillas, las condiciones específicas de la obra pueden introducir variaciones. Por lo tanto, es esencial que las evaluaciones se realicen de manera temprana para maximizar los beneficios y optimizar la productividad.

Dentro del sistema Last Planner, una herramienta de gran utilidad es el análisis de las causas de no cumplimiento de actividades. Esta herramienta inicia el proceso de mejora continua (kanban), que representa uno de los pilares fundamentales de la filosofía Lean. No obstante, a pesar de que en el proyecto examinado se utiliza esta herramienta para discernir las razones del incumplimiento, su implementación no es la adecuada. Por ello, se sugiere que la identificación de la causa de incumplimiento esté intrínsecamente vinculada a la herramienta "5 whys", la cual exige preguntar el porqué del problema hasta cinco veces para identificar la causa raíz. Por ejemplo, si la causa inicial es la falta de acero en la obra, esto podría atribuirse a un problema logístico. Sin embargo, al profundizar, podríamos descubrir que el ingeniero de producción no realizó el pedido a

tiempo, convirtiendo el problema en uno de producción y no logístico.

Las mediciones realizadas por una empresa deberían ser comparables no solo entre sus propias obras, sino también con otros proyectos similares a nivel local, nacional e internacional. Es mediante la comparación con empresas de mayor envergadura que se pueden obtener perspectivas para la mejora (Benchmarking). Por esta razón, en este trabajo proponemos estandarizar las mediciones del Nivel General de Actividad y las Cartas de Balance, basándonos en datos de empresas en Perú, Chile y Colombia. La meta es que, al medir una obra en Perú, se utilice una metodología consistente para clasificar las actividades productivas, contributorias y no contributorias. De esta manera, los resultados serán comparables con los de otras empresas del sector. Cabe señalar que al modificar la clasificación de las actividades, la información previa de la empresa no se pierde; simplemente se puede recalibrar para obtener resultados comparables.

En la gestión de la construcción de proyectos de edificaciones, hay una significativa oportunidad de mejora en la administración eficaz de los subcontratistas. La estrategia predominante en la mayoría de proyectos pequeños y medianos implica que la empresa constructora transfiera toda la responsabilidad y riesgo a los subcontratistas, actuando más como supervisora que como colaboradora. Esta dinámica podría mejorar sustancialmente si se involucra a los subcontratistas en la planificación y programación, responsabilizándolos de los avances pactados semana tras semana y verificando su cumplimiento. De esta manera, no solo se lograría un proyecto más eficiente y una mejora en los tiempos, sino que cada subcontratista se volvería más eficiente en sus tareas, beneficiando tanto a la empresa constructora como a sus colaboradores. Resalto esto último debido a la relevancia del tema y a que podría ser objeto de investigaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **OHNO, Taichi.** Toyota Production System. Japón, 1988.
- **ORIHUELA, Pablo; ESTEBES, Delfín.** “Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra”. V Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía de la Construcción (ELAGEC), Cancún, México, 2013.
- **GOLDRATT, Eliyahu; COX, Jeff.** The Goal. North River Press, Great Barrington, MA, EE.UU., 1984.
- **BOTERO, Luis Fernando; ACEVEDO, Harlem.** “Simulación de operaciones y línea de balance: Herramientas integradas para la toma de decisiones”. Revista Ingeniería y Ciencia, vol. 7, núm. 13, pp. 29-45, Colombia, enero-junio 2011.
- **LORÍA ARCILA, José Humberto.** Programación de obras con la técnica de la línea de balance. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- **ORIHUELA, Pablo; ULLOA, Karem.** “La planificación de las obras y el sistema last planner”. Boletín N° 12, Corporación Aceros Arequipa, julio 2011.
- **ORIHUELA, Pablo.** “Aplicación de la teoría de restricciones a un proceso constructivo”. Boletín N° 1, Corporación Aceros Arequipa, 2008.
- **ALARCON, Luis F.; GONZALES, Vicente.** “Buffers de programación: una estrategia complementaria para reducir la

variabilidad en los procesos de construcción”. Revista Ingeniería de Construcción, vol. 18, núm. 2, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2003.

- **BOTERO, Luis F.; ÁLVAREZ, Martha.** “Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción”. Revista Universidad EAFIT, núm. 130, pp. 50-64, abril-mayo-junio 2003.
- **BOTERO, Luis F.; ÁLVAREZ, Martha.** “Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)”. Revista Universidad EAFIT, vol. 40, núm. 136, 2004.
- **LARA CASTILLO, Pablo Andrés.** “Estudio de optimización de costos y productividad en la construcción de viviendas de hormigón”. Tesis de Maestría, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2007.
- **SABBATINO, Daniel.** “Directrices y recomendaciones para una buena implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación en Chile”. Tesis de Maestría, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile, 2011.

ANEXO N°1: Matriz de Consistencia

TÍTULO: “GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS BIOCONTAMINADOS DEL HOSPITAL REGIONAL DE PUCALLPA UTILIZANDO LEAN CONSTRUCTION Y METODOLOGÍAS ÁGILES”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente (VI):			
¿En qué medida la aplicación de Lean Construction y Metodologías Ágiles influye en el nivel productividad de la instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados del Hospital Regional de Pucallpa?	Aplicar las herramientas de Lean Construction y Metodologías Ágiles en la gestión de la instalación de la PTRS del Hospital Regional de Pucallpa.	La implementación de las herramientas basadas en la metodología Lean Construction, junto con enfoques ágiles, en la gestión de la instalación de la PTRS, MEJ la productividad y optimizará la asignación de recursos, mano de obra y tiempo, generando así resultados más eficientes.	La metodología Lean Construction	<ul style="list-style-type: none"> a) Modelo de gestión. b) Cálculo del rendimiento inicial c) Tiempo de ejecución inicial de actividades. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Subsistema de cableado estructurado ➤ Dispositivos de la red ➤ Estándares del sistema de cableado estructurado ➤ Metodología de diseño de red 	<p>Tipo de Investigación: Preexperimental- aplicativo</p> <p>Diseño de la Investigación: Experimental</p> <p>Población y Muestra: La población es igual a la muestra, con un total de Treinta y dos (32) equipos de cómputo que existen en la unidad.</p> <p>Técnica: Observación</p> <p>Instrumento: Ficha de Registro de datos</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente (VD):			
<ul style="list-style-type: none"> a) ¿Cuáles son los factores que afectan la productividad en la instalación de una planta de tratamiento de residuos biocontaminados? b) ¿Cuál es el nivel de productividad en la instalación de una planta de tratamiento de residuos biocontaminados? 	<ul style="list-style-type: none"> a) Diseñar un sistema de gestión en base a las herramientas de Lean Construction para ser aplicado en la instalación de la PTRS. b) Analizar los resultados de la implementación de las herramientas de Lean Construction en la instalación de la PTRS. c) Identificar las ventajas de la implementación de las herramientas Lean Construction en la instalación de la PTRS. 	<ul style="list-style-type: none"> a) El sistema de gestión basado en las herramientas Lean Construction y aplicado a la instalación de la PTRS permitirá optimizar ejecución del proyecto. b) Los resultados de la aplicación de las herramientas Lean Construction son más ventajosos en comparación con los obtenidos con la gestión tradicional. c) Las ventajas de la aplicación de las herramientas Lean Construction en la instalación de la PTRS está relacionado con el manejo adecuado de los recursos de mano de obra y tiempos, y en adición con el incremento de la tasa de productividad. 	Instalación de la planta de tratamiento de residuos biocontaminados	<ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad • Calidad del Servicios (QoS) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de cable ➤ Atenuación ➤ Latencia 	

