

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(127)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>KEILA KAYET ÁLVAREZ MONTEJO LAURA DAYANA BARBOSA ÁLVAREZ</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>INGENIERÍAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>PEDRO NEL ANGARITA USCATEGUI</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER BAJO LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN EL PROYECTO EDIFICIO VERDE EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO TIENE COMO OBJETIVO IMPLEMENTAR EN EL PROYECTO EDIFICIO VERDE EL SISTEMA LAST PLANNER EN SUS TRES NIVELES DE PLANIFICACIÓN: PLAN MAESTRO, PLAN INTERMEDIO Y PLAN SEMANAL EN LAS ETAPAS ESTRUCTURAL Y DE MAMPOSTERÍA DURANTE DOCE SEMANAS.</p> <p>ADEMÁS, SE DETERMINA EL DESEMPEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN A TRAVÉS DE INDICADORES COMO EL PORCENTAJE DE PLAN COMPLETADO (PPC), LAS CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO (CNC) Y LA CURVA S.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 127</b>	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b>	<b>CD-ROM:1</b>



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER BAJO LA FILOSOFÍA LEAN  
CONSTRUCTION EN EL PROYECTO EDIFICIO VERDE EN EL MUNICIPIO DE  
OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

AUTORES

KEILA KAYET ÁLVAREZ MONTEJO

LAURA DAYANA BARBOSA ÁLVAREZ

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Civil

DIRECTOR

MSc. PEDRO NEL ANGARITA USCATEGUI

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER SECCIONAL OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

## Dedicatoria

A Dios, forjador de mi camino, de quien recibo toda la sabiduría y fortaleza en cada paso que afronto en la vida.

A mis padres Abelardo y Luzmila, pilares fundamentales en mi formación como persona y profesional, por darme su ejemplo de humildad, superación y sacrificio, por su apoyo incondicional a lo largo de mi crecimiento y por su confianza depositada en mí.

A mi hermano Santiago, por su amor sin condición y por ser un motor en mi vida.

A mi hermana Alejandra, por creer en mis capacidades.

A mi amiga y compañera de proyecto de grado, Laura, por su constancia y perseverancia para alcanzar este logro.

A mi profesora Diosa por el tiempo y esfuerzo que dedicó a compartir sus conocimientos en mis primeros años de estudio.

A mi compañero Yeison, por confiar en mis capacidades y por su apoyo incondicional.

A mis amigos Leonel, Darly, Eliécer, Paola, Leidon, Emerson y Josué; por su amistad en cada etapa de mi formación profesional y personal.

A mi familia, por apoyarme y por estar presente en todas las circunstancias de mi vida

A cada una de las personas que pasaron por mi vida y que aportaron en mi crecimiento como profesional.

**Keila Kayet Álvarez Montejo**

## Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, por mostrarme el camino correcto y ser mi fuerza en la debilidad, a Él sea la gloria y la honra por siempre.

A mis padres, Jairo y Marinelda, por su amor, apoyo y comprensión, sin ellos no lo hubiera logrado, son mi motivación para seguir luchando.

A mi hermano, Juan Diego, por amarme y creer en mí.

A la doctora Edith, por su ayuda desinteresada, le estaré infinitamente agradecida.

A mis guías espirituales, Humberto, Dolly, Leandro y Mayra, por su apoyo y por tenerme siempre presente en sus oraciones.

A mi compañera de tesis y amiga desde el primer día que inicio nuestro proceso de formación como ingenieras civiles, Keila Álvarez, por su dedicación y esfuerzo para alcanzar esta meta.

A cada familiar y amigo que me bendijo con su presencia en mi vida, por su ayuda en momentos difíciles y experiencias inolvidables durante este proceso.

**Laura Dayana Barbosa Álvarez**

## **Agradecimientos**

A Dios, el Dueño y Salvador de nuestra vida, gracias a su perfecta voluntad estamos hoy aquí.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional.

Al ingeniero Pedro Nel Angarita Uscategui, director de nuestra tesis, por creer en nosotras y guiarnos durante el proceso, excelente ser humano y profesional a quien le deseamos una pronta recuperación.

Al director del plan de estudios de ingeniería civil, Leandro Ovallos, por su apoyo y excelente trabajo durante estos seis años.

A Yisneidy Ballesteros Navarro, secretaria del plan de estudios de ingeniería civil, por su amable trato y por ser tan especial con cada uno de nosotros.

Al ingeniero Jose Daniel Barbosa, por la oportunidad de implementar nuestro proyecto de grado en su lugar de trabajo.

A cada familiar, maestro y amigo que intervino de manera positiva durante este proceso, a Felipe Sepúlveda y Jesús David Márquez, por hacernos entender y amar nuestra profesión.

A los amigos que conocimos y con quienes disfrutamos nuestro proceso de formación como ingenieras civiles.

## CONTENIDO

### **Capítulo 1: Implementación del sistema Last Planner bajo la filosofía Lean Construction en el proyecto edificio verde en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.. 1**

1.1	Formulación del problema .....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	1
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	Objetivo general .....	2
1.3.2	Objetivos específicos .....	2
1.4	Justificación .....	3
1.5	Delimitaciones .....	4
1.5.1	Geográfica.. .....	4
1.5.2	Conceptual.. .....	5
1.5.3	Operativa.. .....	5
1.5.4	Temporal.. .....	5

### **Capítulo 2: Marco referencial .....**

2.1	Marco histórico .....	6
2.2	Marco conceptual .....	10
2.2.1	Planificación.. .....	10
2.2.2	Push.. .....	10
2.2.3	Pull.....	10
2.2.4	Productividad.....	11
2.2.5	Eficiencia.. .....	11
2.2.6	Variabilidad.. .....	11
2.2.7	Hito.. .....	11
2.2.8	Flujo de valor.....	11
2.2.9	Valor.. .....	12
2.2.10	Pérdida.. .....	12
2.2.11	Restricción.....	12
2.2.12	Buffer.....	13
2.2.13	Asignación.....	13
2.2.14	Conversiones.. .....	13

2.2.15	Tiempo productivo..	13
2.2.16	Tiempo contributivo..	13
2.2.17	Tiempo no productivo..	14
2.2.18	Lean..	14
2.2.19	Último planificador.....	14
2.3	Marco teórico .....	14
2.3.1	Sistemas de producción. ....	14
2.3.2	Lean en la construcción o Lean Construction..	23
2.3.3	Principios Lean Construction .....	27
2.3.4	Pérdidas Lean..	30
2.3.5	Producción sin pérdidas vs Producción convencional.....	32
2.3.6	Planificación y control en la construcción.....	34
2.3.7	Herramienta Lean Construction para la planificación y control.....	38
2.3.8	Sistema del último planificador, en inglés, <i>Last Planner System</i> (SUP).....	39
2.3.9	Indicadores.....	48
2.3.10	Planificación tradicional vs Last Planner System.....	50
2.4	Marco contextual.....	53
<b>Capítulo 3: Diseño metodológico.....</b>		<b>55</b>
3.1	Tipo de investigación .....	55
3.2	Población.....	55
3.3	Muestra.....	55
3.4	Instrumentos para la recolección de información .....	55
3.5	Metodología .....	56
<b>Capítulo 4: Administración del proyecto .....</b>		<b>57</b>
4.1	Recursos humanos.....	57
4.2	Recursos institucionales .....	57
4.3	Recursos financieros .....	57
<b>Capítulo 5: Cronograma de actividades.....</b>		<b>59</b>
<b>Capítulo 6: Resultados .....</b>		<b>60</b>

6.1	Describir el proceso de implementación del sistema Last Planner en sus tres niveles de planificación: plan maestro, plan intermedio y plan semanal, para su uso en la etapa de construcción del edificio verde. ....	60
6.1.1	Plan maestro.. ....	61
6.1.2	Planificación intermedia.. ....	67
6.1.3	Plan semanal.. ....	69
6.2	Identificar las actividades, junto con los últimos planificadores, correspondientes a las planificaciones intermedia y semanal del proyecto edificio verde por medio del análisis de restricciones, inventario de trabajo ejecutable y asignación de responsables. ....	70
6.3	Determinar el desempeño del plan de trabajo semanal mediante el resultado del porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento surgidas para implementar mejoras que permitan obtener un sistema más eficiente. ....	81
6.3.1	Porcentaje de plan completado (PPC). ....	81
6.3.2	Causas de no cumplimiento (CNC). ....	82
6.4	Analizar los resultados obtenidos durante la implementación del sistema Last Planner mediante el uso de métodos estadísticos y herramientas ofimáticas para su comparación con el sistema de planificación actual del proyecto. ....	83
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>96</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>98</b>
	<b>Lista de referencias .....</b>	<b>99</b>
	<b>Apéndices .....</b>	<b>102</b>
7.1	Apéndice A. Formatos empleados en la implementación del sistema Last Planner .....	103
7.2	Apéndice B. Planos arquitectónicos, estructurales, hidráulicos y sanitarios del proyecto edificio verde .....	104
7.3	Apéndice C. Presupuesto de obra.....	105
7.4	Apéndice D. Cronograma plan maestro .....	106
7.5	Apéndice E. Planificación intermedia.....	107
7.6	Apéndice F. Inventario de trabajo ejecutable.....	108
7.7	Apéndice G. Actas de reuniones .....	109
7.8	Apéndice H. Planificación semanal .....	110
7.9	Apéndice I. Avances de obra semanal y acumulado .....	111
7.10	Apéndice J. Cronogramas y flujo de caja.....	112

7.11 Apéndice K. Registro fotográfico ..... 113

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El sistema productivo.....	15
Figura 2. Modelo de transformación..	24
Figura 3. La producción como flujo.....	25
Figura 4. Modelo de agregación de valor.....	25
Figura 5. Ciclo de planificación.....	36
Figura 6. La función control.....	38
Figura 7. Niveles de planificación.....	44
Figura 8. Relación entre debería, puede y se hará.....	47
Figura 9. Sistema de planificación tradicional..	52
Figura 10. Sistema de planificación LPS..	52
Figura 11. Fachada principal del edificio verde.....	54
Figura 12. Cronograma plan maestro.....	66
Figura 13. Porcentaje completado hasta el 9 de febrero de 2019.....	67
Figura 14. Restricciones.....	68
Figura 15. Planificación intermedia (semanas 1-4).....	73
Figura 16. Inventario de trabajo ejecutable para la semana 2.....	74
Figura 17. Acta de reunión No. 1.....	75
Figura 18. Resultados de la planificación de la semana 1.....	76
Figura 19. Planificación intermedia (semana 2-5).....	77
Figura 20. Inventario de trabajo ejecutable para la semana 3.....	78
Figura 21. Acta de reunión semanal 2.....	79
Figura 22. Planificación semanal 2.....	80
Figura 23. Comportamiento del porcentaje de plan completado.....	81
Figura 24. Causas de no cumplimiento.....	82
Figura 25. Estado del edificio antes de la implementación del sistema Last Planner.....	83
Figura 26. Estado del edificio después de la implementación del sistema Last Planner.....	84
Figura 27. Cronograma programado.....	85
Figura 28. Flujo de caja programado.....	86
Figura 29. Curva S programada.....	87
Figura 30. Avance semanal 3.....	88
Figura 31. Avance acumulado 3.....	90
Figura 32. Cronograma ejecutado.....	92
Figura 33. Flujo de caja ejecutado.....	93
Figura 34. Curva S ejecutada.....	94
Figura 35. Comparación entre la curva S programada y ejecutada.....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción en masa vs Producción Lean .....	23
Tabla 2. Producción convencional vs Producción sin pérdidas .....	32
Tabla 3. Ingresos para la financiación del proyecto .....	57
Tabla 4. Egresos para la financiación del proyecto .....	58
Tabla 5. Cronograma de actividades .....	59
Tabla 6. Presupuesto edificio verde.....	62
Tabla 7. División de actividades en subactividades .....	70

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil es una de las ramas de la ingeniería más antiguas y con mayor campo de aplicación. Los profesionales de esta disciplina han procurado la actualización de sus metodologías de planificación y ejecución de obras en pro del mejoramiento de sus productos y una mayor satisfacción de sus clientes.

El sistema Last Planner, es una de esas metodologías en el campo de la planificación y control de obras, desarrollado por los ingenieros Glenn Ballard y Greg Howell con base en la filosofía lean. Ellos buscaron incrementar la productividad en la construcción mediante la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, facilitando la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo.

En la presente investigación, usted encontrará una breve descripción de la implementación del sistema Last Planner, en el proyecto edificio verde, en sus tres niveles de planificación (plan maestro, plan intermedio y plan semanal) a través de formatos de registro del seguimiento a las etapas estructural y de mampostería. Además, se elaboraron gráficas con base a la información obtenida para observar el comportamiento de los indicadores que caracterizan esta metodología como lo son el porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento, terminando con el análisis de los resultados obtenidos con la implementación.

# **Capítulo 1: Implementación del sistema Last Planner bajo la filosofía Lean Construction en el proyecto edificio verde en el municipio de Ocaña, Norte de Santander**

## **1.1 Formulación del problema**

¿La implementación del sistema Last Planner mejora los procesos de planificación, seguimiento y control en el edificio verde en Ocaña, Norte de Santander?

## **1.2 Planteamiento del problema**

En un mundo cambiante y competitivo, es importante buscar alternativas de crecimiento y mejoramiento en cada actividad a desarrollar y más aún si se trata de un sector tan importante como el de la construcción, del cual depende en gran parte la sociedad. Sin embargo, su avance se ha visto frenado a causa de factores como errores en diseños, retrasos y falta de calidad en materiales, y mano de obra deficiente derivados básicamente de insuficiencias en la programación y control de proyectos de construcción.

Investigadores del área como Lauri Koskela, Glenn Ballard y Greg Howell han encontrado, a través de sus estudios, que uno de los grandes inconvenientes para los profesionales de la construcción es el mal uso de recursos humanos y materiales, lo cual resulta en más tiempo y costos de lo previsto para el proyecto.

Un caso real es el proyecto edificio verde, ubicado en la urbanización Caracolí del municipio de Ocaña, cuyos dueños no cuentan con una programación de obra previa a la ejecución, que les otorgue la facultad de controlar el flujo de recursos en la etapa de construcción, incluso el pago a los trabajadores se realiza por actividad ejecutada; aumentando la incertidumbre y la variabilidad en el proyecto, retrasando la finalización de la etapa constructiva del edificio.

A raíz de esta situación es indispensable poner en práctica metodologías que optimicen la planificación y ejecución de obra en cuanto a costo, tiempo y calidad.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Implementar el sistema Last Planner en el proyecto edificio verde en Ocaña, Norte de Santander para incrementar la productividad en la ejecución de las etapas estructural y de mampostería.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Describir el proceso de implementación del sistema Last Planner en sus tres niveles de planificación: plan maestro, plan intermedio y plan semanal, para su uso en la etapa de construcción del edificio verde.
- Identificar las actividades, junto con los últimos planificadores, correspondientes a las planificaciones intermedia y semanal del proyecto edificio verde por medio del

análisis de restricciones, inventario de trabajo ejecutable y asignación de responsables.

- Determinar el desempeño del plan de trabajo semanal mediante el resultado del porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento surgidas para implementar mejoras que permitan obtener un sistema más eficiente.
- Analizar los resultados obtenidos durante la implementación del sistema Last Planner mediante el uso de métodos estadísticos y herramientas ofimáticas para su comparación con el sistema de planificación actual del proyecto.

#### **1.4 Justificación**

El sector de la construcción es un pilar en el desarrollo de un país, por ser la base para que los demás sectores puedan realizar sus actividades, influyendo en su crecimiento económico. De este modo, debe brindar obras de mejor calidad en donde los distintos agentes económicos puedan producir, distribuir y consumir productos y servicios que generen un considerable bienestar socioeconómico.

Sin embargo, el sector se enfrenta a problemas como baja productividad, baja calidad, incumplimiento de los plazos y desviaciones de los presupuestos, reflejando en el producto final una ineficiente gerencia en la construcción. Por ello, surge la necesidad de implementar herramientas de gestión innovadoras como la filosofía Lean Construction por medio del sistema Last Planner que permita generar altos niveles de productividad, calidad y rentabilidad, minimizando posibles pérdidas en el desarrollo de cada etapa de los proyectos.

El proyecto edificio verde requiere un sistema de planificación más eficiente y productivo que reduzca en gran porcentaje la pérdida de recursos mejorando tiempos y costos de construcción. Por tal motivo, la finalidad de este trabajo de grado es implementar el sistema Last Planner a la etapa de construcción del edificio verde, que sea útil para los dueños del proyecto, profesionales de la ingeniería y afines al emprender proyectos de construcción para aumentar la productividad, garantizando una mayor calidad en los procesos y consecuentemente en el resultado.

Esta filosofía ha sido aplicada en varias ciudades del país y del mundo, cambiando el pensamiento tradicional de trabajo en la construcción, generando resultados favorables y significativos mediante un análisis de pérdidas y control de actividades. Por ello implementarlo en nuestro municipio traería consigo un progreso considerable que beneficiaría tanto a profesionales afines al sector de la construcción como a la economía en general.

## **1.5 Delimitaciones**

**1.5.1 Geográfica.** El proyecto de grado se desarrollará en las instalaciones del edificio verde en la urbanización Caracolí del municipio de Ocaña ubicado en la zona noroccidental del departamento Norte de Santander, más exactamente en las coordenadas  $8^{\circ}15'27.7''N$   $73^{\circ}21'42.5''W$ , bajo el programa de Ingeniería Civil de la Facultad de ingenierías de las Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

**1.5.2 Conceptual.** El proyecto se enmarca en los siguientes términos: Calidad, construcción, costo, last planner, lean construction, planificación, pérdidas, productividad, tiempo, último planificador.

**1.5.3 Operativa.** Para el desarrollo del proyecto de grado, se recolectará información proveniente de inspecciones visuales y de personal especializado en el tema además de diversas fuentes de información como bibliografías, cibergrafías y videografía. Así mismo se emplearán herramientas ofimáticas para el desarrollo del mismo.

**1.5.4 Temporal.** El desarrollo del proyecto tendrá una duración de cuatro meses, contados desde la aprobación del mismo, tiempo en el cual se desarrollarán las actividades pertinentes a las etapas estructural y de mampostería que contemplará el desarrollo del proyecto.

## Capítulo 2: Marco referencial

### 2.1 Marco histórico

Last Planner System o Sistema del Último Planificador, es un sistema de planificación y control que permite aplicar la filosofía Lean a la administración de la producción en la construcción, filosofía desarrollada en Toyota Motor Corporation en cabeza del ingeniero Eiji Toyoda para mejorar su sistema de producción, eliminando desperdicios y aumentando el valor de los productos. Es por eso que, al hablar de eficiencia y productividad, uno de los referentes mundiales es Toyota Motor Corporation, empresa fabricante de automóviles, gracias a su sistema de producción conocido por sus siglas en inglés TPS, Toyota Production System. Todo comenzó cuando a Sakichi Toyoda en 1891 se le ocurrió mejorar el telar de mano para posteriormente inventar el telar automático en 1898 con el propósito de hacer menos difícil el trabajo de su madre. A pesar de haber alcanzado grandes logros con los avances en el telar, Sakichi soñaba con construir el primer automóvil de Japón, idea concebida en una de sus visitas a los Estados Unidos de América y deseo con el que falleció; más adelante y después de mejorar el telar automático de su padre (1923), en 1937 su hijo mayor Kiichiro Toyoda toma la visión de su padre y funda Toyota Motor Corporation desarrollando su propia filosofía basada en el concepto de justo a tiempo; cuando comenzaron las operaciones de ensamblaje de automóviles en la planta de Koromo, Toyoda creía que el primer principio para aumentar la eficiencia es garantizar que no haya ni escasez ni exceso de trabajo ni de tiempo para la producción designada; principio que se convirtió en uno de los principales soportes del sistema de producción de la compañía (Toyota 75-Year Company History Editorial Committee, 2012).

En palabras de Eiji Toyoda (1987), sucesor de Kiichiro, después de su muerte, lo que Kiichiro tenía en mente era producir la cantidad necesaria de las piezas requeridas cada día (...) solo haga lo que se necesita a tiempo, pero no haga demasiado. Luego de la Segunda Guerra Mundial, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, de la fábrica de automóviles Toyota, empezaron a utilizar el concepto de lean manufacturing. (Padilla, 2010, pág. 65)

Con el fin de convertirse en el mayor fabricante mundial de automóviles, Eiji Toyoda, en 1950, regresa de Estados Unidos después de visitar la planta de Ford River Rouge Complex en Detroit que en ese entonces era la fábrica de automóviles más grande y eficiente del mundo, con la idea de modificar su sistema de producción para aumentar la eficiencia en los procesos de su empresa, un sistema que produjera mejores resultados de los que hasta el momento habían obtenido; para tal tarea se apoyó en el ingeniero industrial Taiichi Ohno, juntos evaluaron cada parte de la planta y como primera medida dispusieron las máquinas en el orden en que se usaban, mejorando así la productividad y convirtiendo a Toyota en una compañía Global a finales de la década de los cincuenta. (Historia de Toyota, 2015)

Años más tarde, en 1992 se plantea por primera vez la aplicación de la filosofía Lean en proyectos de construcción civil, Lauri Koskela a través de su reporte técnico #72 a la universidad de Stanford “Application of the new production philosophy to construction”, propone la aplicación de la filosofía Lean en la administración de la producción en construcción cuyo objetivo es la eliminación de actividades que no agregan valor (pérdidas), analiza los principios y las aplicaciones del JIT (justo a tiempo) y TQM (control total de la calidad) en esta industria,

intentando identificar las bases que él define como “la nueva filosofía de producción”, conocida como lean production. (Botero Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 149)

El término Lean Construction se menciona por primera vez en el año 1993 cuando junto con otros profesionales de la construcción, Koskela funda el Grupo Internacional para la Construcción Lean (IGLC, por sus siglas en inglés), una red internacional de investigadores en arquitectura, ingeniería y construcción, organización que año tras año realiza una conferencia para la socialización de avances en la filosofía, logrando expandir el área de influencia de la misma; es así como se constituye el Grupo Español de Construcción Lean el 29 de Abril de 2011, grupo que ha permitido la conexión entre profesionales de habla hispana del sector de la construcción interesados en Lean Construction.

Con intención de implementar la filosofía Lean en el sector de la construcción algunos investigadores de renombre mundial han propuesto técnicas o sistemas que facilitan su aplicación, como el desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell en 1994, un nuevo sistema para planificación y control de obra llamado Last Planner System, este sistema incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo, incrementando así la productividad. (Botero Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 150)

Uno de los miembros fundadores del International Group for Lean Construction, el ingeniero Luis Fernando Alarcón, pionero en la implementación de Lean Construction en

América Latina, introdujo en Chile esta filosofía a través del Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Universidad Católica (GEPUC) donde hasta la fecha es director del sector Construcción en dicho programa de investigación. En el resto de América Latina se ha extendido la aplicación de la filosofía Lean Construction a través de diversos sistemas como el ya citado Last Planner System, en países como Brasil y Perú, donde se han obtenido resultados exitosos en diversos proyectos constructivos.

En Colombia, el primer registro existente sobre la aplicación de este nuevo sistema fue el desarrollado por los ingenieros Luis Fernando Botero Botero y María Eugenia Álvarez Villa en su guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento) donde se demuestra, a través de algunos casos en la ciudad de Medellín, la efectividad de la implementación del Sistema del Último Planificador (Last Planner System) en proyectos de construcción. En adelante, su uso se ha extendido a diferentes ciudades del país como Bucaramanga y Cali mediante investigadores de las principales universidades, dando también excelentes resultados. Un ejemplo puntual es el caso en Medellín por parte de los ya mencionados ingenieros, Botero y Álvarez, en siete empresas constructoras, donde se evidencia un aumento en la confiabilidad y reducción de la incertidumbre de la planificación en los resultados individuales de cada obra estudiada elevando el porcentaje de plan completado gradualmente.

A nivel local no se cuenta aún con información sobre la implementación de la filosofía Lean Construction en ninguna de sus metodologías de aplicación, será, por lo tanto, la

implementación del sistema Last Planner bajo la filosofía Lean Construction en el proyecto Edificio Verde en el municipio de Ocaña, Norte de Santander el primer registro en la región.

## 2.2 Marco conceptual

**2.2.1 Planificación.** Planificación es el proceso en que se establece el camino para materializar un proyecto anticipándose a eventos futuros durante su desarrollo, logrando un eficiente uso de los recursos con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto (Alarcón Cárdenas & Serpell Bley, 2009).

**2.2.2 Push.** Es un método usado tradicionalmente en planificación de proyectos que consiste en liberar materiales e información de acuerdo con un plan, sin tener en cuenta si la actividad posterior está lista o no para ejecutarse (Institute Lean Construction, 2017).

**2.2.3 Pull.** Es un método para la planificación de proyectos que funciona cuando el responsable de ejecutar cada actividad está seguro de contar con los requisitos para llevarla a cabo. En este sistema las actividades dependientes comunican sus prerrequisitos a las actividades predecesoras, y estas últimas sólo producen y entregan lo solicitado en el momento indicado (Brioso Lescano, 2015).

**2.2.4 Productividad.** La productividad, en el sector de la construcción, es la relación existente entre la cantidad de trabajo producida y los recursos (humanos, equipo y materiales) utilizados para producir ese trabajo. “Es obtener más con lo que tengo (...) aumentando el valor del producto logrado” (Campero & Alarcón, 2008, pág. 30).

**2.2.5 Eficiencia.** Se refiere a los procesos dentro del proyecto que usen menos recursos para obtener un producto sin sacrificar la calidad. Es la relación entre la producción real obtenida y la producción esperada.

**2.2.6 Variabilidad.** Es la posibilidad de que por alguna razón el proyecto se desvíe de la planificación inicial, y se debe reducir para que la planificación sea confiable.

**2.2.7 Hito.** Es un elemento que define el final o el comienzo de una fase del programa maestro (Institute Lean Construction, 2017).

**2.2.8 Flujo de valor.** El flujo de valor está compuesto por las acciones necesarias para diseñar, producir y entregar el producto final al cliente (Lledó, Rivarola, Mercau, Cucchi, & Esquembre, 2006, pág. 23).

**2.2.9 Valor.** El valor es la percepción que el cliente o consumidor final del producto nota (el cliente define el valor), así pues, el proceso por el que atravesó el productor para lograrlo es indiferente para el mismo.

**2.2.10 Pérdida.** Lo opuesto al valor. Hace referencia a toda actividad desarrollada en el proyecto que consume recursos redundantes en el costo del mismo, pero no agrega valor al producto final de interés para el cliente, en consecuencia, no pagará por ello. Hay siete tipos básicos de desperdicios o pérdidas que incluyen: defectos, espera, transporte de mercancías, movimiento, inventario, sobreproducción y pasos de proceso innecesarios (Institute Lean Construction, 2017).

**2.2.11 Restricción.** Las restricciones son requisitos que evitan el comienzo, avance o finalización de una actividad (Institute Lean Construction, 2017). Impiden el satisfactorio desarrollo de las actividades productivas del proyecto y es necesario eliminarlas para ejecutar exitosamente la planificación. Pueden entenderse como prerrequisitos de trabajo, directrices o recursos necesarios para su realización (Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 151).

**2.2.12 Buffer.** Mecanismo usado temporalmente como soporte cuando falle algún componente de la planificación y por lo tanto no pueda realizarse la actividad prevista. Consiste en actividades sin restricciones que puedan reemplazar a la pronosticada tratando de alterar en el menor grado posible el cronograma.

**2.2.13 Asignación.** Se denomina asignación al trabajo definido como posible de realizar una vez analizadas y eliminadas las restricciones para ser incluida en el plan de trabajo semanal (Botero Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 150).

**2.2.14 Conversiones.** “Son aquellas actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos pensando en los requerimientos del cliente, por lo tanto, en el proceso de producción son las actividades que agregan valor” (Botero Botero & Álvarez Villa, 2003, pág. 67).

**2.2.15 Tiempo productivo.** Es el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción (Botero Botero & Álvarez Villa, 2003, pág. 68), es decir, en actividades que agregan valor al proyecto y por las que el cliente pagará.

**2.2.16 Tiempo contributivo.** Es el tiempo que usa el trabajador para llevar a cabo actividades necesarias o de apoyo para otras actividades productivas pero que no agregan valor al proyecto.

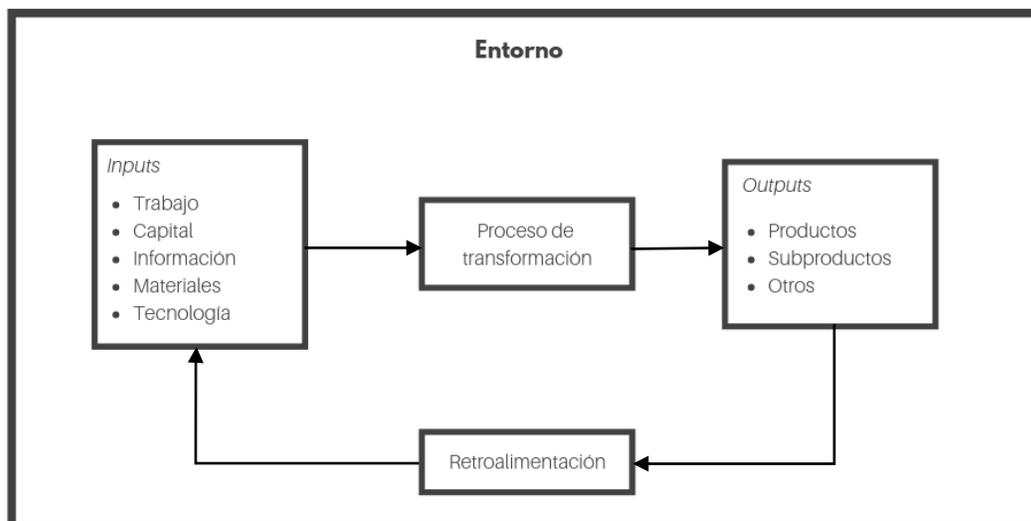
**2.2.17 Tiempo no productivo.** Es el tiempo usado por el trabajador en actividades innecesarias que no agregan valor al proyecto generando costos y por lo tanto pérdidas.

**2.2.18 Lean.** Cultura de respeto y mejora continua orientada a crear más valor para el cliente a la vez que identifica y elimina el desperdicio (Institute Lean Construction, 2017).

**2.2.19 Último Planificador.** Se define como la persona o grupo de personas que lleva a cabo las asignaciones (Institute Lean Construction, 2017).

## **2.3 Marco teórico**

**2.3.1 Sistemas de producción.** La función de producción se puede caracterizar como un sistema abierto. Un sistema es un todo unitario organizado, formado por dos o más partes interrelacionadas y delimitado por una frontera identificable de su entorno o suprasistema, con el que interactúa de forma permanente intercambiando información y productos para lograr una misión determinada. (Fernández Sánchez, Avella Camarero, & Fernández Barcala, 2004, pág. 2)



*Figura 1.* El sistema productivo. Adaptada de Estrategia de producción (pág. 2), por Fernández Sánchez et al, 2004, Madrid: Mc Graw Hill.

Es así como el proceso de producción es un conjunto de actividades mediante las cuales uno o varios factores productivos se transforman en productos. La transformación crea riqueza, es decir, añade valor a los componentes o inputs adquiridos por la empresa. El material comprado es más valioso y aumenta su potencialidad para satisfacer las necesidades de los clientes a medida que avanza a través del proceso de producción. (Fernández Sánchez et al, 2004, págs. 2,3)

El proceso de producción está formado por tareas, flujos y almacenamientos. Una tarea es cualquier acción realizada por trabajadores y/o máquinas sobre materias primas, productos semiterminados o productos terminados. (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 3)

Esta transformación se lleva a cabo mediante un sistema de producción que consiste en personas, equipos y procedimientos diseñados para combinar materiales y procesos que

constituyen las operaciones de manufactura de una compañía (Groove citado por Hoyos Restrepo, 2018, pág 28)

La elección del sistema productivo más adecuado para cada producto depende de múltiples circunstancias, entre las que es posible destacar las siguientes: tamaño del mercado, estrategia de la empresa, dinamismo tecnológico del sector, tipo de clientes y etapa del ciclo de vida en que se encuentre el producto. (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 15)

A continuación, se describe la evolución de los sistemas de producción, enfocándose en la industria manufacturera de automóviles donde se han producido las innovaciones más importantes en este campo, trasladándose a los demás sectores industriales; desde la producción artesanal hasta la producción Lean en donde se enmarca el sistema Last Planner.

**2.3.1.1 Producción artesanal.** “La producción artesanal se define como la creación de un producto único bajo la demanda y especificaciones del cliente, con mano de obra especializada y maquinaria de uso general” (Hoyos Restrepo, 2018, pág. 29)., es decir, “el productor artesano emplea a trabajadores muy cualificados y herramientas sencillas, aunque flexibles, para hacer exactamente lo que pide el cliente –y un ejemplar cada vez” (Womack, Jones, & Roos, 1990, pág. 2)

Las características que distinguen este tipo de proceso son las siguientes (Scheele, Westerman, & Wimmert, 1968, pág. 49):

- El producto o resultado final del trabajo es único.

- La cantidad de unidades de trabajo encargada es muy pequeña y con frecuencia no superior a una unidad.
- La disposición del equipo se efectúa por el tipo de proceso o función realizada.
- Las cantidades de material en proceso suelen ser bastante altas en las actividades manufactureras.
- Normalmente se necesitan obreros muy especializados.
- La supervisión es más difícil que en otros tipos de trabajo y exige una capacidad de mando notable.
- Hay que dar instrucciones en el trabajo muy completas y con gran detalle.
- La planificación previa es muy compleja y difícil. Cada trabajo se completa en sí mismo y normalmente hay muy poca experiencia pasada que se pueda utilizar para realizar una planificación previa detallada.

El periodo productivo artesanal, caracterizado por la escasez de bienes y servicios, sufrió un cambio drástico con el surgimiento de la producción en masa que, al favorecer el desarrollo de la sociedad de consumo, constituye la columna vertebral de la fabricación del siglo XX (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 2).

**2.3.1.2 Producción en masa.** “Después de la Primera Guerra Mundial, Henry Ford y Alfred Sloan, de General Motors, sacaron al mundo de la fabricación de décadas de producción artesanal –liderada por las firmas europeas- y lo introdujeron en la edad de producción en masa” (Womack et al, 1990, pág. 1).

Henry Ford observó que el automóvil era una necesidad latente en el mercado y que tendría una demanda muy alta si lograba venderse a un precio asequible. Por ello, en 1906 proclamó la máxima *fabricaré un coche* para todo el mundo con objeto de fabricar un producto estandarizado, en grandes volúmenes, para el mercado de masas. Tal concepto era revolucionario, ya que hasta ese momento el automóvil era considerado símbolo de posición social cuidadosamente ensamblado por artesanos. Éstos lanzaban cada año un nuevo modelo y modificaban los modelos fabricados hasta la fecha para hacerlos diferentes, con objeto de que los poseedores de modelos antiguos desearan deshacerse de ellos para adquirir los nuevos (Ford citado por Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 24).

“Para lograr su objetivo, Henry Ford se apoyó en tres pilares básicos: a) la intercambiabilidad de las partes, b) el diseño de un coche sencillo, duradero y fácil de reparar y c) la cadena de montaje” (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 24).

Por ello, el productor en masa emplea a profesionales rigurosamente especializados para diseñar productos que realizan trabajadores no especializados o poco especializados manejando máquinas costosas y unipropósito. Se producen con profusión productos estandarizados. Comoquiera que la maquinaria cuesta muchísimo y tolera mal las interrupciones, el productor en masa añade muchas otras cosas- suministros, trabajadores y espacio extras- para asegurarse de que no haya problema en la producción. Dado que el cambio a un producto nuevo cuesta incluso más, el productor en masa mantiene todo lo posible en producir diseños estándar. Como resultado, el consumidor obtiene costes menores, pero a expensas de la variedad y mediante

métodos de trabajo que la mayor parte de los empleados encuentran aburridos y desalentadores.  
(Womack *et al*, 1990, pág. 3)

Las características que distinguen este proceso son las siguientes (Scheele *et al*, 1968, pág. 46):

- El producto final o trabajo realizado está altamente normalizado.
- La cantidad de trabajo realizado o producto fabricado es grande.
- El tipo de equipo utilizado para realizar el trabajo está especialmente diseñado para ese propósito particular.
- La supervisión es relativamente fácil
- Las instrucciones se dan normalmente al establecer el nuevo trabajo y después son necesarias muy pocas.
- El coste unitario del servicio o producto fabricado es relativamente bajo.
- La planificación inicial debe ser extremadamente detallada y completa.
- La planificación y el control son fáciles después que la instalación inicial está completa.

**2.3.1.3 Producción Lean y Just in Time.** “Después de la Segunda Guerra Mundial, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, de la Toyota Motor Company de Japón, fueron pioneros en el concepto de producción ajustada” (Womack *et al*, 1990, pág. 1).

La producción ajustada (término acuñado por el investigador del PIVM John Krafcik) es “ajustada” porque utiliza menos de todo en comparación con la producción en masa- la mitad del

esfuerzo humano en la fábrica, la mitad de espacio en la fabricación, la mitad de inversión en herramientas, la mitad de horas de trabajo de ingeniería para desarrollar un producto nuevo en la mitad de tiempo (Womack et al, 1990, pág. 2).

Toyota tuvo que ensamblar coches en fábricas que, en algunos casos, tenían suelos de tierra y, al no contar con suficiente capital para diseñar una cadena de montaje para cada modelo, diseñó fábricas flexibles. Para ello, las máquinas debían ser capaces de producir diferentes modelos. Después de fabricar un modelo, debían poder prepararse rápidamente para otro modelo. (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 34)

Los primeros coches que Toyota exportó a los Estados Unidos en 1957 no superaron la prueba del mercado, ya que, entre otras ineficiencias, se mostraron incapaces de lograr mantener una velocidad media aceptable. Sin embargo, con el paso del tiempo la situación cambió radicalmente (Fernández Sánchez et al, 2004, pág. 34).

La crisis del petróleo y el correspondiente aumento del precio de la gasolina, provocó un cambio en las preferencias de los consumidores norteamericanos, que pasaron a demandar los coches pequeños de reducido consumo que comercializaban los fabricantes europeos y, sobre todo, los japoneses. Con el paso del tiempo los norteamericanos también empezaron a comprar los coches grandes que fabricaban las empresas japonesas. Estos hechos provocaron que las importaciones de automóviles en su conjunto casi se duplicaran en los años setenta, pasando de un 15 por 100 del total de automóviles vendidos en Estados Unidos en 1970 a un 27 por 100 en

1980, y se mantuvieron en ese elevado nivel tanto durante la década de los ochenta como en la siguiente (Stiglitz citado por Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág 34).

Al principio se creyó que los consumidores norteamericanos compraban los coches extranjeros únicamente porque eran más baratos y consumían menos gasolina. La sorpresa fue enorme cuando se comprobó que los coches importados, sobre todo los japoneses, no sólo se vendían a precios más bajos, sino que eran de mejor calidad (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 35).

La razón de mayor productividad y calidad de las empresas japonesas no se encontraba en unos costes laborales más bajos, sino en una forma diferente de organizar la producción: El Just in Time (JIT, sistema de producción Toyota, justo a tiempo, producción ligera, frugal o magra). Este sistema comienza a desarrollarse en los años sesenta en la fábrica de Toyota en Japón y surge de la necesidad de fabricar diferentes modelos de automóviles, en pequeñas cantidades y con el mismo proceso de producción (Ohno citado por Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 34), manteniendo niveles elevados de calidad y productividad al tiempo que se reduce la duración del ciclo completo de producción (lead time) (Fernández Sánchez *et al*, 2004, pág. 35).

“Es así como los productores ajustados ponen su mirada explícitamente en la perfección: reducción continua de costes, cero defectos, cero inventarios e infinita variedad de productos” (Womack *et al*, 1990, pág. 3).

Dentro de la base conceptual de esta filosofía de producción, Koskela (1992) menciona una serie de principios para el diseño de flujo de procesos, el control y el mejoramiento (Hoyos Restrepo, 2018, pág. 35):

1. Reducir la proporción de actividades que no agregan valor.
2. Incrementar el valor del producto.
3. Reducir la variabilidad
4. Reducir los tiempos de ciclo.
5. Simplificar el número de pasos, partes y conexiones en los procesos.
6. Incrementar la flexibilidad de la producción.
7. Incrementar la transparencia del proceso.
8. Enfocar el control al proceso completo.
9. Mejoramiento continuo de los procesos.
10. Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión.
11. Comparación de desempeño.

El pensamiento convencional veía a la producción solo como la conversión de procesos, en tanto que la filosofía de producción Lean la ve como el conjunto de conversión y flujo de procesos, en los cuales sólo la conversión agrega valor al proceso productivo, por lo cual la mejora en el flujo de procesos debe enfocarse principalmente en su reducción o eliminación (Koskela citado por Hoyos Restrepo, 2018, pág 36)

**2.3.1.4 Producción en masa vs Producción Lean.** Las diferencias existentes entre la producción en masa y la producción Lean se puede sintetizar en los siguientes aspectos:

Tabla 1.  
*Producción en masa vs Producción Lean*

<b>Producción en masa</b>	<b>Producción Lean</b>
<i>Tamaño de lote</i>	
Produce en lotes de gran tamaño para lograr economías de escala	Produce en lotes pequeños gatillados por la demanda
<i>Inventarios</i>	
Maneja grandes inventarios	Minimiza inventarios; produce cuando se requiere y en flujo continuo de producción
<i>Tiempos de ciclo</i>	
Tiempos de ciclo muy extendido	Reduce tiempo de ciclo para responder rápidamente a los requerimientos del cliente
<i>Uso de mano de obra</i>	
Usa personal altamente especializado en tareas muy específicas	Promueve el trabajo en equipo, la colaboración y multifuncionalidad de los empleados
<i>Toma de decisiones</i>	
Las decisiones se toman en altos niveles de la organización	Promueve la toma de decisiones a niveles operacionales

**2.3.2 Lean en la construcción o Lean Construction.** “Lean construction es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas)” (Botero Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 149).

Los fundamentos y principios conceptuales de la Producción sin pérdidas son substancialmente simples. Los flujos de información y de material son la base del análisis, que combina tres diferentes puntos de vista (Campero & Alarcón, 2008, pág. 16):

**2.3.2.1 Modelo de transformación.** Se define como un conjunto de procesos de conversión destinados a transformar entradas (materias primas, información, equipos) en bienes intermedios o terminados (productos o servicios). Centra sus esfuerzos en mejorar o hacer más eficiente el proceso de transformación. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 16)

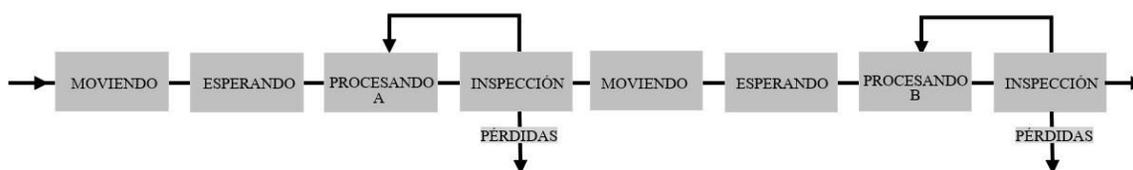


*Figura 2.* Modelo de transformación. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 460), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

La producción en sí, se conceptualiza como una “caja negra”, por lo que se desconoce la forma exacta en que las actividades de conversión se llevan a cabo. De esta manera, para influir sobre los resultados de la producción, la única alternativa es actuar sobre las entradas. En función de esto, para mejorar los resultados de una transformación, es posible realizar una mayor inversión en la tecnología que soporta el proceso, o bien, desarrollar la transformación en grandes volúmenes, a fin de gozar de los privilegios de las economías de escala y los efectos derivados de la curva de aprendizaje (Campero & Alarcón, 2008, pág. 460).

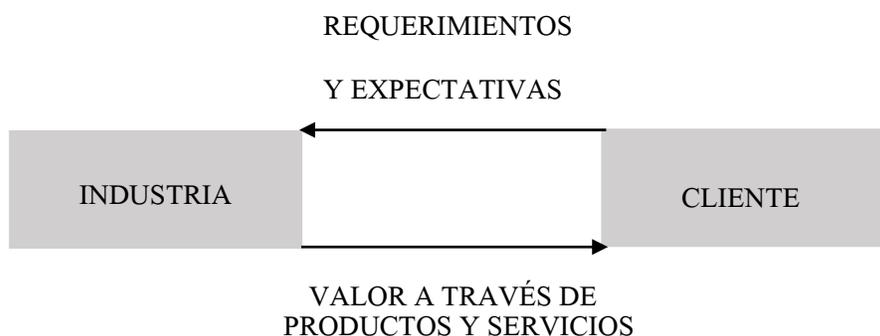
La unidad de medición de resultados de la transformación es la productividad, que se define como la relación entre las salidas y las entradas del proceso, es decir cuántos bienes terminados o intermedios es posible lograr con determinado número de materia prima o equipos (Campero & Alarcón, 2008, pág. 460).

**2.3.2.2 Modelo de flujo.** Este modelo considera la producción como un flujo continuo de materias primas e información a través de los procesos productivos, en pro de la obtención eficiente de bienes intermedios y finales. El flujo de actividades en el proceso de conversión comprende transformación, inspección, movimientos y esperas. Persigue eliminar aquellas acciones que no generan valor, por lo que pueden considerarse como pérdidas. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 16)



*Figura 3.* La producción como flujo. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 462), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Santiago de Chile.

**2.3.2.3 Modelo de agregación de valor.** La producción se entiende como un proceso que genera valor por medio del cumplimiento de los requerimientos del cliente. Centra sus esfuerzos en lograr la satisfacción total de sus necesidades. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 16)



*Figura 4.* Modelo de agregación de valor. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 465), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

La conceptualización de la producción como una agregación de valor, es un proceso cíclico que tiene 3 fases bien definidas:

- La recopilación de requerimientos de los clientes
- La conversión de estos requerimientos en valor
- La entrega de valor al cliente

Por este motivo, en la implementación del modelo es necesario contar ya no sólo con mecanismos que permitan la transformación física, sino además con mecanismos que permitan la interacción con el cliente en la captura de requerimientos y la entrega de valor. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 465)

Las investigaciones concluyen que la integración de estos tres modelos se facilita si (Campero & Alarcón, 2008, pág. 16):

- a) El trabajo se ordena por proceso (actividad que, como el proyecto, tiene origen y término) en vez de funciones;
- b) Se privilegia el trabajo en equipo por sobre el trabajo individual;
- c) En el equipo participan todos los directamente involucrados en el proceso, en particular, el cliente o receptor del producto.

### 2.3.3 Principios Lean Construction

*2.3.3.1 Principios originales.* Los cinco principios Lean descritos por Womack y Jones, se aplican a cualquier organización. Los principios son: (Forbes & Ahmed, 2011)

- **Valor:** es fundamental identificar el valor realmente deseado por los clientes y proporcionarlo. Las organizaciones Lean se resisten de persuadir a los clientes con lo que les resulte más fácil de proporcionar.
- **Flujo de valor:** el mapeo del flujo de valor para cada producto o servicio expone el desperdicio y facilita su eliminación; la cooperación entre participantes y partes interesadas da lugar a procesos lean.
- **Flujo:** Es necesario hacer que los pasos de creación de valor fluyan. Los flujos de negocio, sitio de trabajo y suministro dependen de un flujo de valor efectivo con pocos o ningún impedimento.
- **Pull:** Bajo la transformación lean, los esfuerzos de todos los participantes son: estabilizar los pulls de acuerdo con las demandas del cliente.
- **Perfección:** esfuérate en lograr la perfección, aunque nunca se logre. Desarrollar instrucciones de trabajo, procedimientos y establecer controles de calidad.

*2.3.3.2 Principios extendidos.* Liker y Meier en el 2006, presentaron 15 principios Lean en su libro *The Toyota Way Field*, los cuales son:

- **Tomar decisiones a largo plazo.**

Aunque haya objetivos a corto plazo, hay que ser capaces de mirar más allá y analizar qué va a suceder con las decisiones tomadas a largo plazo.

- **El proceso correcto producirá los resultados correctos.**

Un proceso en donde se piense en la calidad de los productos y en cómo estos van a ser procesados, logrará una disminución de los costos.

- **Crear un proceso continuo**

Se debe crear un proceso continuo que lleve los problemas a la superficie para identificarlos y encontrar falencias en el proceso para poder trabajar sobre ellos.

- **Usar pull para evitar la sobreproducción**

Hay que producir sólo cuando el cliente lo pide.

- **Nivelar la carga de trabajo**

Muchas veces se crean cuellos de botella, debido a que las cargas de trabajo no están balanceadas entre los distintos procesos. Por lo tanto, se debe analizar cuál es el proceso, cuáles son las etapas que tiene y lograr que estas necesiten recursos o tiempos parecidos para que se pueda cumplir con los principios anteriores de tener flujos continuos y de no tener tiempos de espera muertos por desnivelación de carga de trabajo.

- **Detenerse para resolver problemas**

Cuando se identifiquen los problemas, cualquier trabajador o colaborador del proceso, está capacitado para detener el trabajo o proceso y así resolver el problema.

- **Estandarizar tareas y procesos.**

Es necesario estandarizar procesos para generar pequeños cambios y posteriormente ver sus efectos con el fin de seguir mejorando. Al generar el cambio, se estandariza el proceso

nuevamente para observar si el mismo funciona o no y evaluarlo para establecer la necesidad de efectuar uno nuevo. Por lo tanto, se estandariza con el fin de obtener procesos controlados y así aplicar cambios a un proceso que es estable y continuo.

- **Utilizar el control visual**

El control visual es muy importante pues permite que todos los trabajadores participen en el proceso de mejora continua y creación de valor para el cliente con el fin de cumplir los objetivos. Mediante el control visual se puede observar los problemas, actuar, tomar acciones correctivas y detener la producción en caso de que sea necesario.

- **Utilizar tecnología confiable**

Es importante contar con tecnología confiable que permita mantener los procesos estandarizados y mejoras controladas.

- **Haz crecer a tus líderes**

Los líderes son quienes realmente entienden el proceso que se ejecuta o debe ejecutarse. Por lo tanto, ellos son capaces de vivir la filosofía y enseñarla; a ellos se debe procurar su crecimiento.

- **Desarrollar personas que sigan la filosofía**

Se debe asegurar que todas las personas involucradas en el proyecto sigan la filosofía y así contribuir a un buen ambiente de trabajo.

- **Desafiar a tus asociados a mejorar**

Es importante ayudar a los asociados a entender sus falencias y brindarles facilidades para que puedan mejorar.

- **Mirarte a ti mismo para entender la situación**

Hace referencia a entender completamente la situación, observarse a sí mismo dentro del proceso que realiza para entender cuál es la cadena de valor y qué es lo que anda mal.

- **Tomar decisiones a conciencia**

Decidir con calma con el fin de considerar todas las opciones para tomar la más acertada.

- **Convertirse a organización de aprendizaje**

Dar la oportunidad a los asociados y trabajadores para realizar reflexiones profundas y permitir que mejoren continuamente.

**2.3.4 Pérdidas Lean.** Una pérdida hace referencia a todo lo distinto a recursos mínimos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto, es decir, es todo lo que no agrega valor.

El ingeniero japonés Taiichi Ohno se fijó en el concepto de agregar valor e identificó y clasificó las pérdidas en la industria automotriz, que luego se emplearon en la construcción, las cuales son:

- **Sobreproducción:** Producir más de lo necesario o ejecutar una actividad antes de que sea realmente necesaria.

- **Espera de empleados:** Interrupciones del trabajo o tiempo de inactividad.
- **Transporte:** Movimientos innecesarios en obra de personas, equipos o materiales desde un proceso a otro. Esto puede incluir trabajo administrativo, así como actividades físicas.
- **Procesamiento innecesario:** Producir más de lo necesario para el cliente.
- **Inventario:** Cantidad de materiales que va por sobre la necesidad inmediata. Además de materiales puede incluir trabajo en proceso y productos terminados.
- **Movimiento innecesario:** Desplazamiento innecesario de personal o maquinaria durante su trabajo.
- **Defecto:** Actividad que requiere re-trabajo por errores u omisiones.

Además, en el 2004, Koskela presentó dos tipos de pérdidas nuevos, los cuales son:

- **Making-Do o hacer por hacer:** Improvisación por parte del personal, es decir, la ejecución de una tarea continúa, aunque los elementos necesarios no estén disponibles. En otras palabras, obligar a que el trabajo prosiga independientemente de las condiciones.
- **Subestimar una tarea:** Incumplimiento de las especificaciones o el detalle requerido sobre una tarea. En otras palabras, es estimar una menor cantidad de recursos y tiempo para determinada tarea.

Finalmente, en el año 2006, Liker y Meier en su libro *The Toyota Way Field*, exponen otro tipo de pérdida la cual es:

- **Perder las ideas que tienen los trabajadores:** Desaprovechar el potencial de las personas en la organización.

**2.3.5 Producción sin pérdidas vs Producción convencional.** La producción convencional se fundamenta en la observación de la producción como una conversión de las entradas (materiales, mano de obra, etc), hacía las salidas (los productos). Por ello la producción total puede ser dividida en subprocesos, los cuales también son procesos de conversión (Campero & Alarcón, 2008, pág. 469).

La producción convencional es mejorada por la implementación de nueva tecnología, principalmente en las actividades que agregan valor (conversión), y hasta cierto punto también en las actividades que no agregan valor (como el almacenamiento automatizado, líneas de transporte y sistemas de control computarizado) (Campero & Alarcón, 2008, pág. 469).

Tabla 2.  
*Producción convencional vs Producción sin pérdidas*

	<b>PRODUCCIÓN CONVENCIONAL</b>	<b>PRODUCCIÓN SIN PERDIDAS</b>
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Actividades de control	Gestión, asesoramiento, control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Del departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos
Conceptualización de la producción	La producción consiste de conversiones (actividades). Todas las actividades añaden valor al producto	La producción consiste de conversiones y flujos; hay actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor al producto.

Tabla 2. Continuación

Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos
Mejoramiento	Implementación de nueva tecnología	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología.

*Nota:* Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 470), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Sin embargo, en el tiempo, el costo de las actividades que no agregan valor presenta una tendencia creciente. Hay varios mecanismos que contribuyen a esto (Campero & Alarcón, 2008, pág. 470):

- Mientras mayor control se ejerce sobre el costo de cada actividad individual, menor es el control que se enfoca al impacto de estas actividades sobre el costo de otras.
- La especialización, inherente en el modelo de las organizaciones jerárquicas, automáticamente lleva a una expansión de actividades que no agregan valor (transporte, esperas, inspecciones).
- La implementación de nueva tecnología generalmente lleva a una situación donde los sistemas de producción son más complejos, propensos a perturbaciones, y se requiere nuevos especialistas para mantener el sistema.

Dentro de la producción sin pérdidas, las actividades que no agregan valor son expresamente identificadas. A través de la medición y la aplicación de los principios para el mejoramiento del control de flujo, es posible iniciar la reducción significativa de los costos de las actividades que no agregan valor. Las actividades que agregan valor son mejoradas a través del mejoramiento continuo interno y un mejor uso del equipamiento existente. Sólo después de que

este mejoramiento es realizado, se considera inversiones mayores en nueva tecnología. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 471)

**2.3.6 Planificación y control en la construcción.** La planificación puede definirse como un proceso de toma de decisiones anticipada que involucra un sistema de partes interdependientes, en el que cada parte debe ser evaluada y revaluada a la luz de, al menos, otra parte (Ackoff citado por Hoyos Restrepo, 2018, pág 37).

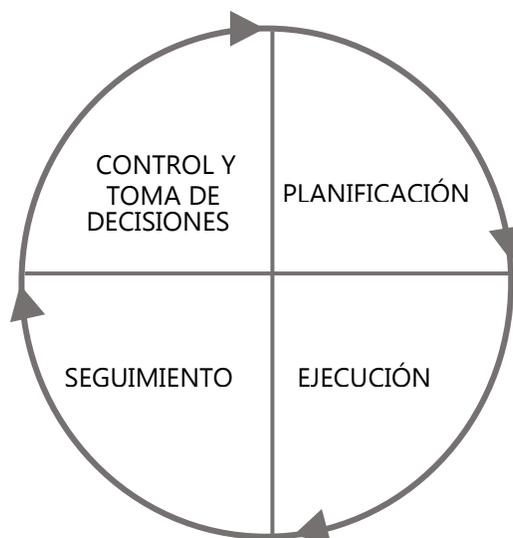
La planificación de la construcción involucra multiplicidad de participantes, roles, niveles y tiempos. Laufer & Tucker (1994) propusieron la planificación en la construcción como un proceso compuesto por varios elementos; cuanto más de aquellos elementos estén presentes, más fácilmente se reconoce el proceso como planificación. Dichos elementos son los siguientes (Hoyos Restrepo, 2018, pág 38):

1. Un proceso de toma de decisiones.
2. Un proceso anticipado para decidir qué y/o cómo realizar acciones en determinado evento futuro.
3. Un proceso de integración de decisiones interdependientes dentro de un sistema de decisiones.
4. Un proceso jerárquico que se desarrolla desde pautas generales hasta objetivos específicos y la definición de recursos y restricciones que permitan establecer líneas de acción detalladas.
5. Un proceso que incluye la búsqueda de información, el desarrollo, diseño, análisis y evaluación de alternativas y la toma de decisiones.

## 6. Presentación documentada, en forma de planes.

La planificación se debe emplear en todo el desarrollo del proyecto de construcción desde el comienzo hasta el fin, desde la conceptualización y el estudio de factibilidad del proyecto hasta su entrega al cliente una vez finalizado. Esto incluye la planificación del diseño, de las adquisiciones y contratación, así como de la ejecución de los trabajos de construcción en terreno. Debido a lo anterior, uno de los aspectos más complicados de los primeros pasos de la planificación es la necesidad de coordinar el esfuerzo de las distintas partes (personas y organizaciones) involucradas en un proyecto desde la concepción misma de éste y de los procesos y actividades necesarios para realizarlo (Alarcón Cárdenas & Serpell Bley, 2009, pág. 15)

La planificación se lleva a cabo dentro de un ciclo que se va repitiendo durante todo el desarrollo del proyecto. Este ciclo incluye cuatro acciones relevantes: la planificación propiamente tal que corresponde a la determinación del curso de acción y las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto (Alarcón Cárdenas & Serpell Bley, 2009, pág. 18)



*Figura 5.* Ciclo de planificación. Adaptada de Planificación y control de proyectos (pág. 18), por Alarcón & Serpell, 2009, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Por su parte, el control es el proceso que asegura que se conserven las líneas de acción y se alcancen los objetivos deseados y definidos en el proceso de planificación; involucra medida y evaluación del desempeño y la toma de medidas correctivas cuando dicho desempeño diverge de los objetivos. Por lo tanto, la planificación y el control son funciones inseparables que van de la mano (Taloo citado por Hoyos Restrepo, 2018, pág 38)

El proceso de control debe ser realizado teniendo en cuenta dos dimensiones: eficiencia y eficacia. Respecto a la primera, el control debe mejorar la forma en que los recursos son utilizados, reduciendo constantemente los insumos y/o el tiempo necesario para la producción. En relación a la eficacia, el control busca aumentar la probabilidad de que las actividades se lleven a cabo como se planificaron, al corregir desviaciones entre lo planificado y lo realmente ejecutado (Botero citado por Hoyos Restrepo, 2018, pág.38). De esta forma, el fin último del

control resulta ser la búsqueda de la efectividad en el proceso de planificación, al equilibrar la eficiencia y la eficacia en el desarrollo de las actividades. (Hoyos Restrepo, 2018, pág. 39).

La función control está compuesta por las dos labores siguientes (Campero & Alarcón, 2008, pág. 372):

- Evaluación

- Aplicación de medidas correctivas y de prevención

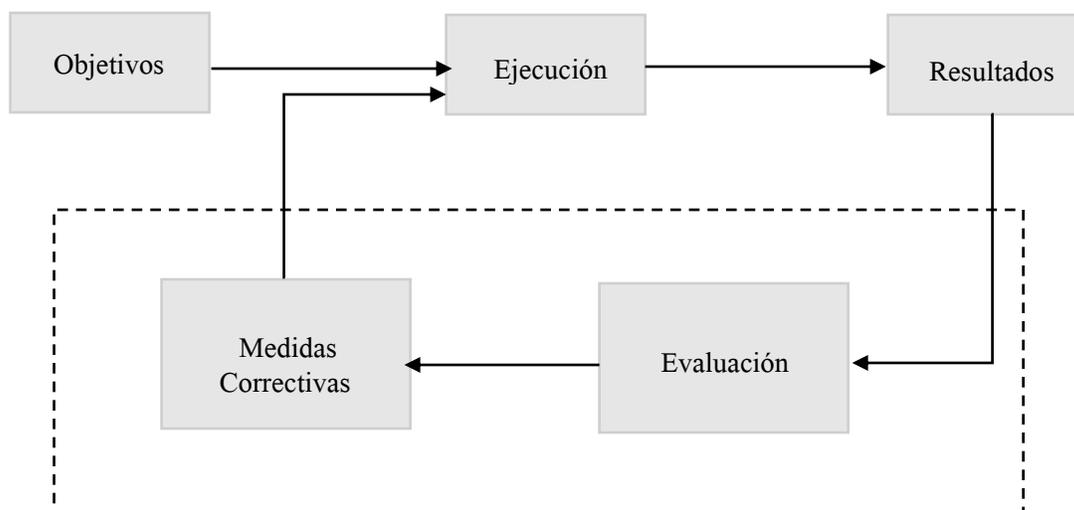
A su vez, la labor de evaluación comprende:

- La medición de los resultados

- La medición de los recursos que usaron

- La comparación con los valores programados.

La función control resulta, por lo tanto, una herramienta indispensable para asegurar el producto deseado. La evaluación de los resultados parciales en una etapa del proceso y la eventual aplicación de medidas correctivas, se transforman en un sistema de retroalimentación que presiona para que el proceso de mantenga en la ruta programada. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 372)



*Figura 6.* La función control. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 372), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

### 2.3.7 Herramienta Lean Construction para la planificación y control.

Mediante el enfoque Lean construction se han desarrollado diversas herramientas tendientes a reducir las pérdidas a través del proceso productivo. Una de estas herramientas de planificación y control fue diseñada por Ballard y Howell. El sistema denominado el último planificador (Last Planner System) presenta cambios fundamentales en la manera como los proyectos son planificados y controlados. El método incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo, lo cual incrementa la productividad. (Botero Botero & Álvarez Villa, 2005, pág. 150)

### **2.3.8 Sistema del último planificador, en inglés, *Last Planner System* (SUP).**

Basado en los principios de Lean Construction, el sistema fue desarrollado por Herman G. Ballard y Gregory A. Howell. El término Last Planner se refiere a la cadena jerárquica de planificadores, donde el último planificador actúa en la fase de ejecución. Por lo tanto, este método se concentra en la planificación detallada justo antes de la ejecución, en lugar de todo el proceso de planificación.

Además, el sistema Last Planner es una técnica que modula el flujo de trabajo del sistema de un proyecto y aborda la variación en la construcción. Como su nombre lo indica, el último planificador es la persona o grupo responsable de las operaciones de planificación en el nivel raíz a través del cual se controla la unidad de producción y se especifican claramente las tareas individuales. En el sistema del último planificador, el flujo de trabajo del sistema de planificación se mueve desde el nivel inferior de análisis de restricciones y varía hasta el programa maestro. Las etapas intermedias de la planificación, como el plan de porcentaje completo, el plan de trabajo semanal y los cronogramas, se modifican de acuerdo con la planificación del nivel raíz. Por lo tanto, este sistema crea y desarrolla un cronograma de planificación eficiente con una técnica de extracción, que regula el flujo de trabajo, la secuencia de actividades y la tasa de finalización de la actividad. El sistema del último planificador también correlaciona el flujo y la capacidad del proceso, crea nuevos métodos para la ejecución de actividades y sostiene la comunicación entre oficios. Como lo expresó Ballard en sus trabajos sobre la construcción Lean, el sistema del último planificador integra palabras clave como "Debería", que indica que las obras se ejecutarán de acuerdo con el cronograma planificado, "Puede" que indica las actividades que se pueden realizar a pesar de varias restricciones y "Se

hará" indicando un compromiso definido del último planificador. (Sundararajan & Madhavi, 2018)

La función principal del Last Planner es lograr una planificación realista desde un enfoque de planificación optimista, examinando el desempeño de los trabajadores no solo en función de su productividad sino también de su capacidad para lograr su objetivo de manera realista y comprometida. El objetivo final del Último planificador es extraer las actividades mediante el método de programación de fase y la planificación integrada. (Sundararajan & Madhavi, 2018). El procedimiento de implementación del sistema Last Planner es el siguiente: (Sundararajan & Madhavi, 2018)

- Especificar qué tareas deben realizarse, cuándo y por quién, hasta las fases intermedias de los hitos, desde la mitad de las operaciones de las mismas hasta la fase final, y el proceso dentro de varias operaciones.
- Desarrollar todas las tareas y mantenerlas listas para ser ejecutadas.
- Nueva planificación para lograr los objetivos generales del proyecto.
- Elegir las tareas diarias según los horarios de trabajo semanales para decidir el próximo trabajo inmediato a realizar.
- Hacer que la liberación de trabajos entre especialistas sea confiable.
- Hacer visible el estado actual y futuro del proyecto.
- Medición del desempeño del sistema de planificación.
- Aprender de los fallos del plan.

**2.3.8.1 Principios Last Planner System.** La empresa (GEPRO, 2016), menciona los siguientes principios del sistema Last Planner:

- Planear con mayor detalle a medida que se acerca el momento de realizar el trabajo.
- Producir planes en colaboración con aquellos que realizarán el trabajo.
- Revelar y remover limitaciones ¡RESTRICCIONES! en tareas planeadas como equipo.
- Hacer promesas confiables.
- Cuando no mantengas tus promesas, encontrar la causa y prevenirla – aprender de esos fracasos.

**2.3.8.2 Planes necesarios en el proyecto.** El SUP tiene cuatro niveles de planificación donde se va afinando el plan y la incertidumbre se va reduciendo por medio de una consideración cuidadosa de lo que debería hacerse y lo que efectivamente puede realizarse. Planificando de esta manera, se mantiene los objetivos siempre presentes para el equipo del proyecto y se hace posible identificar y remover obstáculos para alcanzarlos. La coordinación se logra a través de un proceso continuo de obtener y cumplir compromisos para la acción, para que la planificación no sea sólo intenciones, sino una labor activa de diseñar la forma en que el trabajo será realizado. El logro de un flujo de trabajo confiable, de una cuadrilla a otra, reduce pérdidas, simplifica la planificación posterior y permite entregar mayor valor a los clientes (Campero & Alarcón, 2008, pág. 408).

2.3.8.2.1 *Plan maestro o programa maestro.* La planificación inicial genera el presupuesto y el programa del proyecto. Proporciona un mapa de coordinación de actividades que lleva a la realización del mismo. Esta etapa es de vital importancia para que el Sistema Último Planificador proporcione los beneficios esperados. El programa maestro o programa inicial debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra; sólo de esta manera se podrá dar validez al Sistema Último Planificador, ya que se estarán supervisando tareas que, en la realidad, representan la forma en que trabaja la empresa (Campero & Alarcón, 2008, pág. 408).

El Programa Maestro se desarrolla a partir del criterio de diseño que apoya los objetivos del proyecto especificados por el mandante. La estructura básica del trabajo se determina subdividiéndolo en partes, determinando la secuencia en que serán ejecutadas y generando hitos de control para el proyecto. El programa maestro debe demostrar la factibilidad de completar el trabajo a tiempo, desarrollar y mostrar estrategias de ejecución, determinar las tareas que requieren plazos prolongados de planificación previa, e identificar hitos importantes para los distintos actores del proyecto. Este programa no debería usarse para manejar actividades, excepto en proyectos muy simples y pequeños. En general, sólo debe servir de guía para programas de detalle o de fase, expandidos o ampliados (Campero & Alarcón, 2008, pág. 408).

2.3.8.2.2 *El programa de fase.* Todas las actividades del programa maestro necesitarán tarde o temprano ser exploradas y puestas en el programa intermedio (lookahead). En proyectos largos y complejos, su programa maestro puede representar actividades sólo en términos generales y un programa intermedio, al cubrir todas las tareas ampliadas, puede llegar a ser inmanejable. Por lo anterior, el programa maestro puede separarse en fases, con actividades constituidas por conjuntos de tareas a realizarse en una proximidad espacial y temporal. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 409)

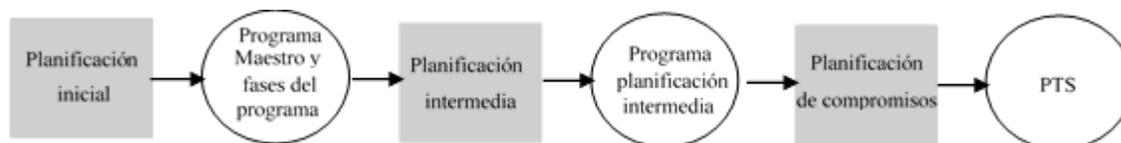
Esta división en fases deberá realizarse durante la planificación inicial y subsecuentemente, las actividades de cada fase serán ampliadas según la ventana del programa de planificación intermedia. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 409)

El programa fase no siempre es necesario en proyectos simples o pequeños, pero cumple una función que no debe ser ignorada. Los Programas de Fase representan una subdivisión más detallada del Programa Maestro, preparada por las personas que administran el trabajo en la fase, para apoyar el cumplimiento de los hitos del Programa Maestro. Desde esa perspectiva presentan una clara oportunidad de lograr compromisos confiables de planificación con la participación de los principales actores de cada Fase del proyecto. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 409).

Las actividades en una fase del programa son altamente dependientes unas de otras, por lo que requieren una íntima coordinación. Ejemplos de fases son: limpieza del terreno y excavación, construcción de fundaciones, levantamiento de la estructura, terminaciones. Las fases de la programación deben ser preparadas por lo menos seis semanas antes de comenzar su

primera actividad o incluso con mayor anticipación cuando se reconocen periodos de respuestas largos. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 410)

2.3.8.2.3 *Plan intermedio o planificación intermedia.* El proceso de Planificación Intermedia es el tercer nivel en la jerarquía del sistema de planificación, siendo posterior a la Planificación Inicial (de la cual resulta el Programa Maestro) y a la de Fase y antecedendo a la planificación de compromiso que genera el Plan de Trabajo Semanal (PTS). Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo, entendido como la coordinación de diseño (planos), proveedores (materiales y equipos), recurso humano, información y requisitos previos, que son necesarios para que la producción pueda llevarse a cabo (Campero & Alarcón, 2008, pág. 410)



*Figura 7.* Niveles de planificación. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 410), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

La planificación inicial genera el presupuesto y el programa del proyecto. Proporciona un mapa de coordinación que lleva a la realización del mismo. La planificación intermedia detalla y ajusta el presupuesto y el programa, arrastrando recursos hacia la obra y protegiendo actividades para las que probablemente los recursos no están disponibles. La planificación intermedia se dedica a determinar el flujo de trabajo para el último planificador. La planificación de compromiso involucra, como su nombre lo dice, el compromiso de lo que será hecho, después de

evaluar lo que se debería en contra lo que se puede hacer, basándose en la recepción real de recursos y en la superación de requisitos previos (Campero & Alarcón, 2008, pág. 410).

La planificación intermedia abarca típicamente intervalos de sólo 5 ó 6 semanas, ya que la incertidumbre sobre lo que vendrá después deja sin sentido un detalle mayor. La planificación intermedia y la planificación de compromisos exploran incrementalmente las tareas a ejecutar, tomando en cuenta las circunstancias reales. Ambos a su tiempo, cubren intervalos cada vez más cortos en el futuro inmediato para reflejar con un mayor grado de confianza la ejecución del trabajo (Campero & Alarcón, 2008, pág. 411)

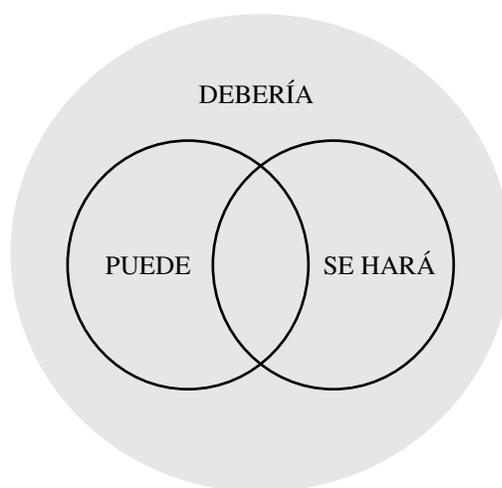
2.3.8.2.4 *Plan semanal o planificación semanal.* La planificación semanal del trabajo es aquella que presenta el mayor nivel de detalle antes de realizar un trabajo. Es desarrollada por diseñadores, supervisores de terreno, capataces y otras personas que participan directamente en la ejecución del trabajo dependiente entre sí. El resultado se materializa en un programa común a todos los involucrados. La gestión tradicional aborda la planificación semanal definiendo actividades y un programa de trabajo, antes de comenzar, en términos de lo que DEBE ser hecho. Así las actividades son identificadas, se estima su duración y se organizan secuencialmente para servir de la mejor forma los objetivos del proyecto. Se realiza el trabajo, diseñando cuadrillas, que son encomendadas por la administración para hacer lo que el programa señala DEBE ser hecho, sin verificar con prolijidad si PUEDE realmente hacerse en un intervalo de tiempo específico. Los recursos asumen disponibles cuando se necesiten, lo que debe presumiblemente garantizar la realización de lo programado. (Campero & Alarcón, 2008, págs. 411-412)

Después que el programa ha sido terminado y el trabajo está en progreso, se reúnen los recursos (materiales y mano de obra), adhiriéndolos al programa de la mejor manera posible.

A diferencia de lo señalado, el nuevo sistema asume que la planificación significa seleccionar lo que DEBE realizarse para completar el proyecto y delimitar en el tiempo lo que SE HARÁ (entendiéndose por esto la programación acordada), reconociendo que, dadas las limitaciones de recursos, no todo PUEDE ser hecho. Por consiguiente, si lo que DEBE realizarse determina el subconjunto de lo que PUEDE ser hecho, y a la vez, lo que PUEDE realizarse

determina el subconjunto de lo que SERÁ realizado, entonces existe una alta probabilidad que lo que se ha planificado sea completado con éxito (Campero & Alarcón, 2008, pág. 412)

Lo anterior constituye un caso ideal y extremo que rara vez se da. Muchos proyectos de construcción son caracterizados de mejor forma al considerar lo que se PUEDE y lo que SERÁ hecho como subconjunto de lo que debe realizarse, estando éstos parcialmente sobrepuestos. Si el plan es desarrollado sin estar en conocimiento de lo que puede ser hecho, lo HECHO será solo la intersección de lo que PUEDE hacerse y lo que se HARÁ como se muestra en la siguiente figura (Campero & Alarcón, 2008, pág. 412):



*Figura 8.* Relación entre debería, puede y se hará. Adaptada de Administración de proyectos civiles (pág. 412), por Campero & Alarcón, 2008, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

En su esencia básica el SUP desarrolla acciones que permiten por una parte conocer lo que PUEDE hacerse para producir un alineamiento con lo que SE HARÁ, y por otra parte liberar restricciones para que lo que puede hacerse sea mayor que lo que se requiere planificar en el

periodo (SE HARÁ). De esta manera es posible acercarse a la situación ideal. (Campero & Alarcón, 2008, pág. 413)

**2.3.9 Indicadores.** La identificación de patrones e indicadores de rendimiento ayudan a identificar, en una etapa temprana del ciclo de vida del proyecto, las posibles fallas y éxitos. La identificación de patrones e indicadores de proceso, buenos predictores de fracasos y éxitos de proyectos, puede ser muy útil para centrar la atención y los esfuerzos en mejorar el desempeño en el lugar correcto, en las etapas iniciales de los proyectos. (Alarcón, Salvatierra, & Letelier, 2014)

Entre los indicadores se encuentran:

**2.3.9.1 Porcentaje de plan completado (PPC).** El porcentaje de Plan Completo (PPC) es la medida utilizada en el LPS para evaluar la confiabilidad de finalización de la tarea o promesa. PPC es una medida de todo o nada que se calcula en función de las actividades completadas frente a las actividades prometidas. Una razón para calcular el PPC es mejorar el rendimiento individual y del sistema. Compartir la medida del PPC con los últimos planificadores también proporciona una base para establecer búferes entre una serie de tareas apropiadas para la confiabilidad de esos ejecutantes. Cuando sabemos que otros ejecutantes son confiables, podemos incorporar esto en nuestra promesa y aumentar el flujo de trabajo. (Macomber, Howell, & Reed, 2005)

**2.3.9.2 Porcentaje de eliminación de restricciones (PCR).** El Porcentaje de Cumplimiento de Restricciones (PCR) es un indicador que refleja la confiabilidad de la responsabilidad de los Últimos Planificadores. Se calcula como la razón entre el “número de restricciones que deben liberarse y que sí se liberaron este período de corto plazo o la liberación ocurrió un período anterior” y el “total de restricciones cuya fecha comprometida de liberación se encuentra dentro del período de corto plazo actual” (Letelier Osés, 2014, pág. 27).

$$PCR [\%] = \frac{A + B}{C} * 100$$

Donde:

A: Número de restricciones liberadas en el período de corto plazo actual, cuya fecha comprometida para su liberación se encuentra dentro del período de corto plazo actual.

B: Número de restricciones cuya fecha comprometida de liberación se encuentra dentro del período actual, sin embargo, su fecha de liberación efectiva se realizó en un período de corto plazo anterior.

C: Total de restricciones, cuya fecha comprometida de liberación se encuentra dentro del período de corto plazo actual.

**2.3.9.3 Curva de progreso.** Es una representación gráfica del progreso acumulativo del proyecto en relación con el tiempo. Es muy útil para comparar el progreso real con el progreso esperado. (Alarcón, Salvatierra, & Letelier, 2014)

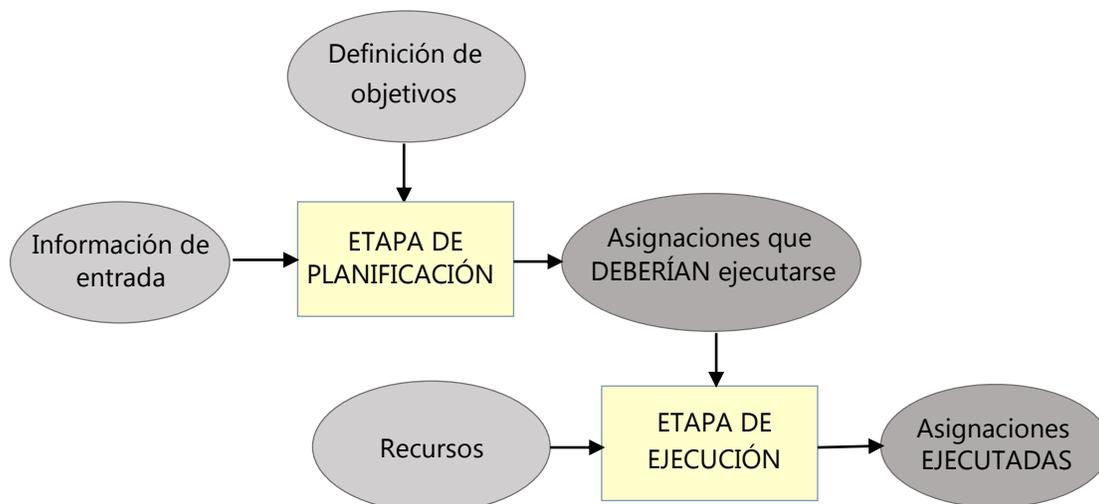
La Curva de Avance es una representación gráfica del avance acumulado del proyecto en función del tiempo y sirve para comparar el avance real con el avance esperado. La curva puede representar diferentes tipos de avance acumulado (costo, HH, etc) y por lo general se ilustra como un gráfico “% acumulado v/s tiempo”. El uso de las Curvas S como herramienta de Control de Avance genera los siguientes beneficios (Letelier Osés, 2014, pág. 31):

- Realizar un seguimiento del avance acumulado real del proyecto.
- Identificar si es que el proyecto se encuentra “adelantado” o “retrasado” según lo esperado.
- Analizar tendencias de comportamiento del proyecto.
- Realizar toma de decisiones preventivas y/o correctivas

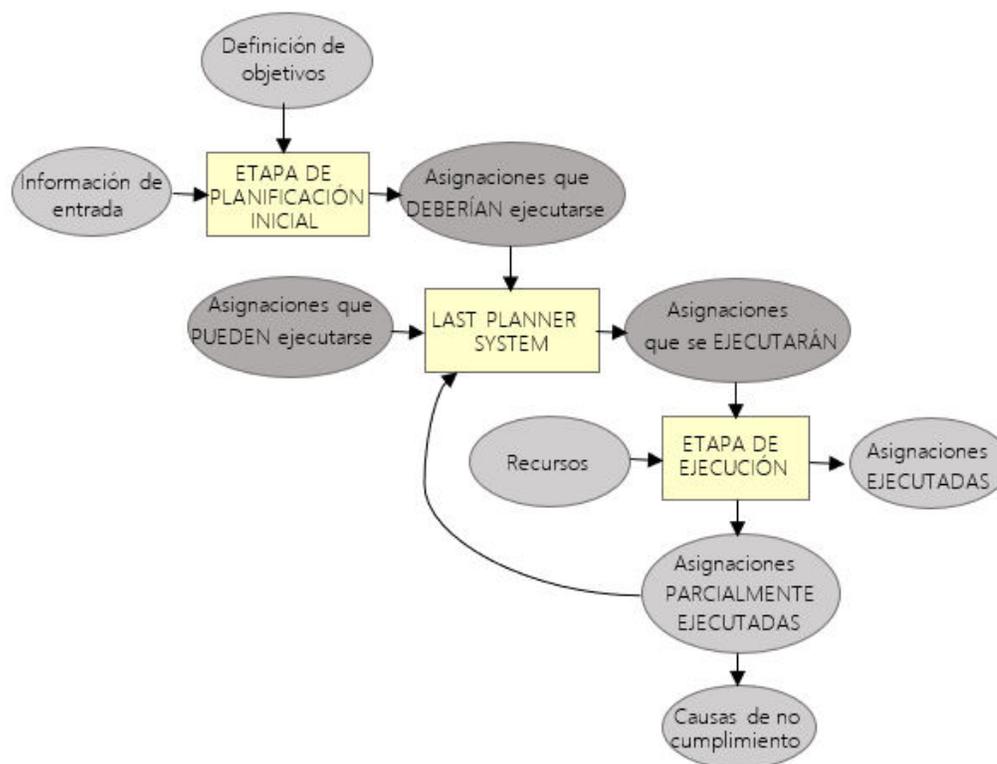
Para que las Curvas S cumplan su objetivo, es fundamental que exista coordinación en el control de avance y plazos. Para lograrlo, el orden de ejecución de las actividades debe ser lo más cercano a la planificación esperada, ya que sólo de esta forma se podrá realizar comparaciones confiables. Se recomienda actualizar la Curva de Avance Esperado todas las veces que sea necesario para contrastar la Curva de Avance Real ante una referencia actualizada (Letelier Osés, 2014, pág. 32)

**2.3.10 Planificación tradicional vs Last Planner System.** En el sistema de planificación tradicional se definen los objetivos del proyecto y a partir de la información de entrada del mismo, se definen las asignaciones que “deberían” ejecutarse.

Cuando estas asignaciones están definidas la etapa de ejecución entra en acción, sin preguntarse previamente si la actividad “puede” puede ejecutarse, [ver figura 9]. Si el enfoque de planificación tradicional funcionara perfectamente, lo “ejecutado” coincidiría siempre con lo que se “debería” ejecutar (Ballard & Howell, 1994), sin embargo, no es así, pues se encuentra incertidumbre en el camino y es por esta razón que el gremio constructor tradicional se ha caracterizado por la variabilidad, baja productividad, imprevistos e incumplimiento de plazos en sus contratos. En contraste, la planificación vista desde un enfoque Lean a través de Last Planner System, [ver figura 10] reduce la incertidumbre dentro del proceso de planificación, pues incluye, previo a la ejecución de las actividades, el análisis de restricciones en el plan intermedio que permiten asegurar que las asignaciones puedan ser ejecutadas y retroalimenta semanalmente el proceso para que haya aprendizaje dentro del equipo de trabajo y se concentren esfuerzos por identificar la causa raíz de los incumplimientos para evitar recurrencia futura. El proceso de planificación debe centrarse principalmente en la gestión del “puede”; mientras más se pueda agrandar el “puede”, mayor será la posibilidad real de avance, pues si la cantidad de actividades que pueden ejecutarse es baja, el ritmo de avance puede verse afectado (A. D. Rodríguez, Alarcón, & Pellicer, citados por Hoyos Restrepo, 2018, pág.45).



*Figura 9.* Sistema de planificación tradicional. Adaptada de Last Planner en Colombia, una revisión a la implementación y su impacto en el desempeño de proyectos de construcción (pág. 45), por Hoyos Restrepo, 2018, Medellín.



*Figura 10.* Sistema de planificación LPS. Adaptada de Last Planner en Colombia, una revisión a la implementación y su impacto en el desempeño de proyectos de construcción (pág. 45), por Hoyos Restrepo, 2018, Medellín.

## **2.4 Marco contextual**

El proyecto de investigación se desarrollará en el municipio de Ocaña, Norte de Santander en el lote 3 de la manzana 2 de la Urbanización Caracolí, entre la carrera 31 con calle 2ª, donde se encuentra ubicado el Proyecto Edificio Verde, el cual consiste en la construcción de un edificio de 5 pisos más un sótano, cubriendo un área total construida de 1627.72 m<sup>2</sup> y cuyo uso será familiar. La particularidad de este edificio es que se construye para ser el primer edificio ecológico de la ciudad en tanto que contará en su fachada con una cubierta vegetal.

El capital humano que ejecuta la obra está compuesto por un arquitecto, un ingeniero residente, un maestro de obra y alrededor de trece obreros que junto con los proveedores y los materiales de construcción serán el objeto de estudio del presente proyecto de grado.

A continuación, el modelo de la fachada principal del edificio:

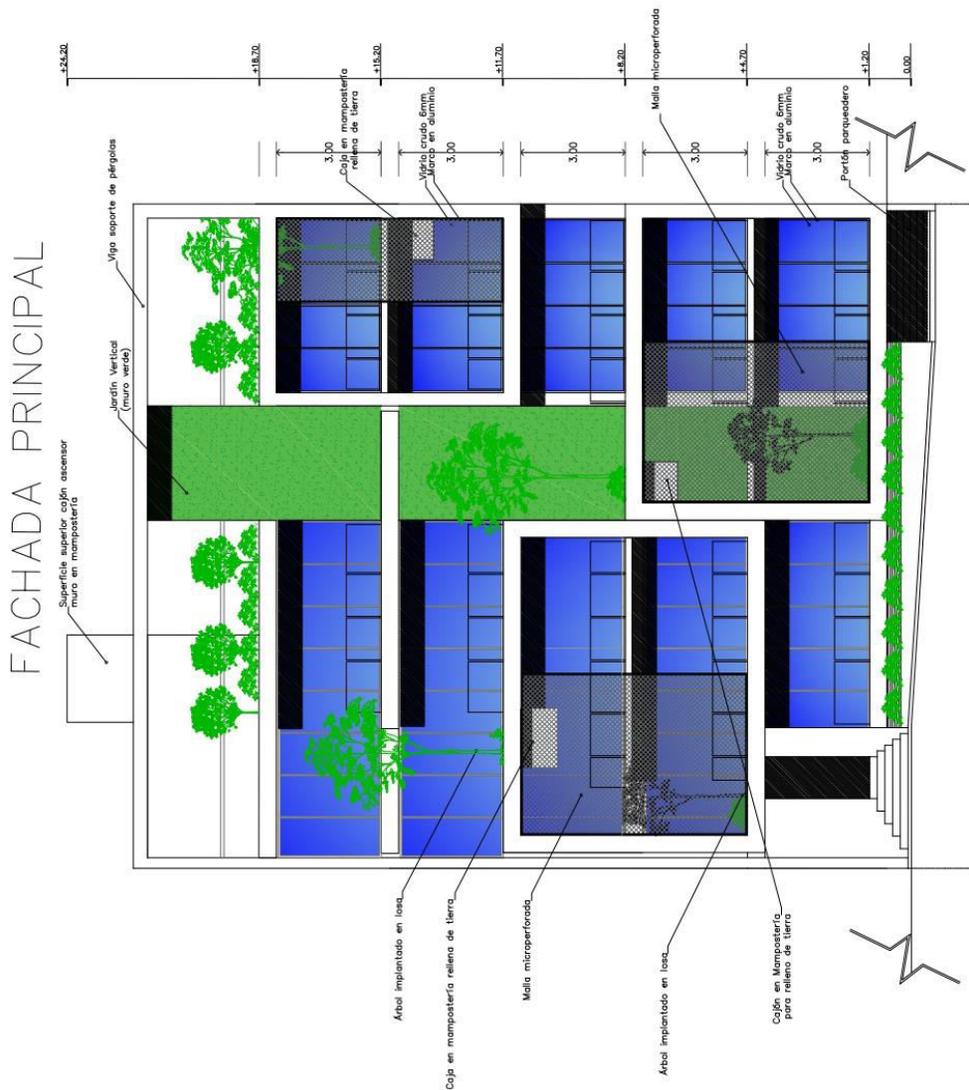


Figura 11. Fachada principal del edificio verde. Plano arquitectónico del proyecto

## **Capítulo 3: Diseño Metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación al que se alude en el presente proyecto es Descriptiva, puesto que se identifican hechos y características del objeto de estudio. Por ello, se enfoca en describir actividades y procesos con el fin de predecir relaciones existentes entre dos o más variables.

### **3.2 Población**

La población la componen tanto los colaboradores del proyecto Edificio Verde como los proveedores de materiales. En total, cinco propietarios, un arquitecto, un ingeniero residente, un maestro de obra, tres oficiales, trece obreros y cuatro proveedores.

### **3.3 Muestra**

Tomando en consideración el reducido tamaño de la población, la investigación se realizará con toda la población del proyecto Edificio Verde.

### **3.4 Instrumentos para la recolección de información**

Las técnicas de recolección de información que se usarán para el desarrollo de este proyecto son la observación rigurosa para conocer, registrar y analizar las distintas variables que intervienen en la investigación.

### 3.5 Metodología

Para la consecución del objetivo de implementar el sistema Last Planner en el proyecto Edificio Verde se proyectan las siguientes etapas:

La primera etapa es de observación del objeto de estudio para obtener información acerca del comportamiento de las distintas variables que lo componen como son los recursos humanos y materiales, esto plasmando lo observado en formatos elaborados por los autores.

Durante la segunda etapa del proyecto se implementarán los 3 niveles de planificación y control del Last Planner System, comenzando con el plan maestro para el cual se desarrollará el cronograma y presupuesto de obra, continuando con el lookahead o planificación intermedia que incluye el análisis de las restricciones, inventario de trabajo ejecutable y asignación de responsables, encuadrando dentro de este tiempo la planificación semanal liberando las restricciones semana a semana. Simultáneamente, se representarán indicadores como el PPC (Porcentaje de plan completado) y las curvas de avance, importantes para conocer el progreso en las actividades durante la implementación del sistema.

Finalmente, se estudiarán los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos por medio de formatos aplicados durante la implementación del sistema, utilizando representaciones visuales de los mismos (diagramas de barras, diagramas lineales y diagramas circulares) donde se muestren los resultados del proceso para su posterior análisis con el fin de realizar un comparativo del estado inicial y final de la obra verificando si implementar el sistema Last Planner es eficaz.

## Capítulo 4: Administración del proyecto

### 4.1 Recursos humanos

- Keila Kayet Álvarez Montejo, estudiante de ingeniería civil.
- Laura Dayana Barbosa Álvarez, estudiante de ingeniería civil.
- Msc Pedro Nel Angarita Uscategui, director temático del proyecto.
- Jose Daniel Barbosa León, ingeniero civil y residente de la obra.

### 4.2 Recursos institucionales

Los recursos institucionales que se emplearán en el desarrollo del proyecto son:

- Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
- Biblioteca Argemiro Bayona Portillo
- Sala de cómputo de ingeniería civil

### 4.3 Recursos financieros

Los autores del proyecto financiarán la totalidad de los gastos que conlleva el desarrollo del trabajo de grado como se muestra a continuación:

Tabla 3.  
*Ingresos para la financiación del proyecto*

<b>Ingresos</b>	
Keila Kayet Álvarez Montejo	\$ 55.400
Laura Dayana Barbosa Álvarez	\$ 55.400

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 4.  
Egresos para la financiación del proyecto

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
<b>Trabajo de campo</b>			<b>\$ 75.000</b>
Transporte al sitio	120	\$ 1.500	\$ 75.000
<b>Papelería</b>			<b>\$ 35.800</b>
Formatos para toma de datos	90	\$ 100	\$ 9.000
Implementos básicos de oficina			\$ 10.000
Impresión del anteproyecto	136	\$ 50	\$ 6.800
Cartulina y papel bond			\$ 10.000
<b>Recursos humanos</b>			<b>\$ 0</b>
Recursos humanos			\$ 0
		<b>Total</b>	<b>\$ 110.800</b>

*Nota:* Elaboración propia

## Capítulo 5: Cronograma de actividades

Tabla 5.  
*Cronograma de actividades*

Actividades	Semanas															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recopilación de información acerca del proyecto	■															
Creación de la EDT de la obra	■	■														
Desarrollo del presupuesto de obra	■	■	■													
Desarrollo del cronograma de obra			■	■												
Elaboración de formatos para la implementación LPS	■															
Ejecución de los niveles de planificación (intermedia y semanal)					■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Desarrollo de reuniones con los últimos planificadores					■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Observación del comportamiento y avance de la planificación					■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Procesamiento de resultados obtenidos en campo													■	■	■	■
Análisis de resultados													■	■	■	■

*Nota:* Elaboración propia

## Capítulo 6: Resultados

### **6.1 Describir el proceso de implementación del sistema Last Planner en sus tres niveles de planificación: plan maestro, plan intermedio y plan semanal, para su uso en la etapa de construcción del edificio verde.**

La implementación del sistema Last Planner en el proyecto edificio verde, parte del desarrollo del plan maestro, avanzando a través de la planificación intermedia hacia la planificación semanal durante 12 semanas (18 de febrero-18 de mayo); dicha planificación abarca parte de las etapas estructural (losas 5, 6 y 7; escaleras y ascensor) y de mampostería (pisos 1, 2, 3 y 4 y ascensor). Se crearon formatos para la compilación de la información obtenida durante la planificación intermedia y semanal, los cuales se pueden detallar en el *Apéndice A*.

**6.1.1 Plan maestro.** El plan maestro está compuesto del presupuesto y cronograma de obra, describe lo que debería hacerse. Todos los proyectos de construcción deben contar con el plan maestro antes de su ejecución. Sin embargo, en el proyecto edificio verde no se había realizado, razón por la cual se desarrolla como primer paso de la implementación del sistema Last Planner. Cabe destacar que el edificio verde inicialmente iba a constar de 5 pisos, para los cuales se desarrolló el plan maestro, después de la decisión de los propietarios de construir un piso nuevo se continúa con la planificación intermedia y semanal.

**6.1.1.1 Presupuesto.** El presupuesto del proyecto se desarrolla en microsoft excel, comenzando por definir y secuenciar las actividades junto con sus unidades de medida y memoria de cálculo, a partir de los planos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos y sanitarios incluidos en el *Apéndice B*, para finalmente determinar recursos y costos con base en los análisis de precios unitarios. A continuación, se presenta un resumen del presupuesto (el archivo completo se encuentra en el *Apéndice C*):

Tabla 6.  
Presupuesto edificio verde

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	V. UNITARIO	V. TOTAL
<b>1,0</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1,01	Descapote y limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	304,00	\$ 1.872	\$ 569.229
1,02	Localización y replanteo	m <sup>2</sup>	304,00	\$ 2.614	\$ 794.636
1,03	Campamento 8*8	Gl	1,00	\$ 400.000	\$ 400.000
<b>2,0</b>	<b>CIMENTACIÓN</b>				
2,01	Excavación mecánica para sótano	m <sup>3</sup>	982,32	\$ 4.595	\$ 4.513.753
2,02	Acero de refuerzo 420 MPa para zapatas	kg	6404,06	\$ 3.222	\$ 20.633.865
2,03	Concreto 21 MPa para zapatas	m <sup>3</sup>	68,59	\$ 379.161	\$ 26.006.430
2,04	Acero de refuerzo 420 MPa para vigas de amarre	kg	2290,05	\$ 4.439	\$ 10.165.532
2,05	Concreto para vigas de amarre 28 MPa	m <sup>3</sup>	19,62	\$ 417.576	\$ 8.191.432
2,06	Relleno con receba	m <sup>3</sup>	121,06	\$ 153.026	\$ 18.525.710
2,07	Relleno con material granular	m <sup>3</sup>	52,92	\$ 138.421	\$ 7.325.239
2,08	Retiro de escombros	m <sup>3</sup>	2263,38	\$ 9.859	\$ 22.314.614
<b>3,0</b>	<b>ESTRUCTURA</b>				
3,01	Acero de refuerzo 420 MPa para losa de piso	kg	3431,30	\$ 3.326	\$ 11.412.487
3,02	Concreto para losa de piso 28 MPa	m <sup>2</sup>	264,60	\$ 69.104	\$ 18.284.918
3,03	Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,2	kg	1354,40	\$ 3.326	\$ 4.504.718
3,04	Concreto para losas 28 MPa h=0,2	m <sup>2</sup>	41,16	\$ 107.097	\$ 4.407.888
3,05	Acero de refuerzo 420 MPa para vigas	kg	34576,50	\$ 4.439	\$ 153.485.084
3,06	Concreto para vigas 28 MPa	m <sup>3</sup>	141,66	\$ 479.514	\$ 67.929.030
3,07	Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,12	kg	15430,70	\$ 3.326	\$ 51.322.492
3,08	Concreto para losas 28 MPa h=0,12	m <sup>2</sup>	809,84	\$ 65.470	\$ 53.020.081
3,09	Acero de refuerzo 420 MPa para columnas	kg	23606,63	\$ 3.535	\$ 83.449.419

Tabla 6. Continuación

3,10	Concreto para columnas 28 MPa	m <sup>3</sup>	82,88	\$	481.437	\$	39.902.847
3,11	Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras	kg	1240,05	\$	3.326	\$	4.124.406
3,12	Concreto para escaleras 28 MPa	m <sup>3</sup>	8,94	\$	453.430	\$	4.054.956
<b>4,0</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>						
4,01	Suministro e instalación de mampostería en ladrillo macizo para muro doble de sótano	m <sup>2</sup>	378,61	\$	79.264	\$	30.009.826
4,02	Suministro e instalación de pañete impermeabilizado 1:4	m <sup>2</sup>	397,54	\$	170.204	\$	67.662.268
4,03	Suministro e instalación de mampostería en bloque H10	m <sup>2</sup>	2487,13	\$	17.677	\$	43.965.068
4,04	Suministro e instalación de pañete 1:4	m <sup>2</sup>	5222,98	\$	7.576	\$	39.569.307
4,05	Suministro e instalación de estuco	m <sup>2</sup>	5901,54	\$	10.529	\$	62.137.352
4,06	Suministro e instalación de pintura exterior e interior	m <sup>2</sup>	5901,54	\$	12.162	\$	71.774.573
4,07	Suministro e instalación de mampostería en ladrillo macizo para muro de ascensor	m <sup>2</sup>	146,25	\$	36.260	\$	5.302.989
<b>5,0</b>	<b>INSTALACIONES HIDROSANITARIAS</b>						
<b>5,1</b>	<b>Instalaciones Sanitarias</b>						
5,1,1	Tubería PVC 2"	m	171,89	\$	29.384	\$	5.050.669
5,1,2	Tubería PVC 3"	m	37,88	\$	34.309	\$	1.299.762
5,1,3	Tubería PVC 4"	m	181,22	\$	29.134	\$	5.279.649
5,1,4	Tubería PVC 6"	m	13,09	\$	54.859	\$	718.296
5,1,5	Tubería PVC Agua Lluvia 2"	m	111,31	\$	17.434	\$	1.940.587
5,1,6	Tubería PVC Agua Lluvia 4"	m	53,73	\$	29.134	\$	1.565.326
5,1,7	Tubería PVC Agua Lluvia 6"	m	10,08	\$	108.809	\$	1.096.795
5,1,8	Tubería de Ventilación 2"	m	11,73	\$	33.309	\$	390.665
<b>5,2</b>	<b>Instalaciones hidráulicas</b>						
5,2,1	Tubería PVC 1-1/2"	m	9,88	\$	22.467	\$	221.985
5,2,2	Tubería PVC 1/2" Agua potable	m	221,94	\$	12.787	\$	2.837.928
5,2,3	Tubería PVC 3/4" Agua Potable	m	355,38	\$	14.415	\$	5.122.846

Tabla 6. Continuación

5,2,4	Tubería CPVC 1/2" Agua Caliente	m	313,77	\$	15.392	\$	4.829.571
5,2,5	Tubería PVC 3/4" Agua subsuperficial	m	319,20	\$	14.415	\$	4.601.268
5,2,6	Suministro e instalación de Tanque elevado	Un	3,00	\$	672.031	\$	2.016.093
5,2,7	Tubería PVC 1" Presión	m	9,45	\$	15.080	\$	142.506
<b>6,0</b>	<b>CARPINTERÍA</b>						
<b>6,1</b>	<b>Suministro e instalación de carpintería metálica</b>						
6,1,1	Persianas de sótano	m <sup>2</sup>	2,64	\$	128.389	\$	338.947
6,1,2	Persianas exteriores	m <sup>2</sup>	27,60	\$	128.389	\$	3.543.536
6,1,3	Marco en aluminio para ventanas de 1,5*2,4	Un	5,00	\$	474.939	\$	2.374.695
6,1,4	Marco en aluminio para tragaluz de 0,7*0,6	Un	10,00	\$	79.959	\$	799.590
6,1,5	Marco en aluminio para tragaluz de 1,6*0,6	Un	5,00	\$	150.951	\$	754.755
6,1,6	Marco en aluminio para tragaluz de 2*0,6	Un	5,00	\$	178.951	\$	894.755
6,1,7	Puerta ventana de 1,2*2,9	Un	57,00	\$	494.939	\$	28.211.523
6,1,8	Portón de parqueadero	Un	1,00	\$	2.179.756	\$	2.179.756
6,1,9	Puertas de acero 0,9*2,1	Un	51,00	\$	535.951	\$	27.333.501
6,1,10	Pasamanos en aluminio	m	56,80	\$	347.976	\$	19.765.037
<b>6,2</b>	<b>Suministro e instalación de carpintería de madera</b>						
6,2,1	Puerta de madera 0,9*2,35	Un	25,00	\$	259.859	\$	6.496.475
<b>6,3</b>	<b>Vidriería</b>						
6,3,1	Vidrio crudo 6mm	m <sup>2</sup>	229,08	\$	56.105	\$	12.852.365
<b>7,0</b>	<b>ACABADOS</b>						
7,01	Suministro e instalación de baldosa para piso	m <sup>2</sup>	1235,33	\$	114.495	\$	141.439.498
7,02	Suministro e instalación de juegos de baños y cocina	Gl	1,00	\$	28.562.856	\$	28.562.856
7,03	Cielo raso en Drywall	m <sup>2</sup>	1235,33	\$	43.021	\$	53.145.278
<b>8,0</b>	<b>CUBIERTA</b>						
8,01	Cubierta terraza	Un	9,00	\$	3.913.593	\$	35.222.337
8,02	Suministro e instalación de Malla Microperforada	m <sup>2</sup>	76,05	\$	408.821	\$	31.090.837

Tabla 6. Continuación

<b>9,0 CUBIERTA VEGETAL</b>						
9,01	Suministro e instalación de cubierta vegetal para fachada	m <sup>2</sup>	67,32	\$	239.716	\$ 16.137.681
9,02	Suministro e instalación de árboles para materas	Gl	1,00	\$	32.065.276	\$ 32.065.276
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>\$ 1.416.082.793</b>
ADMINISTRACIÓN						\$ 212.412.419
<b>VALOR TOTAL OBRA</b>						<b>\$ 1.628.495.212</b>

*Nota:* Elaboración propia

### 6.1.1.2 Cronograma

Para la realización del cronograma de obra, se usó la herramienta microsoft project y datos del presupuesto de obra. Asimismo, se incluye el porcentaje completado de actividades para la fecha de estado: 9 de Febrero de 2019, a partir de la cual se comenzó a implementar el Sistema Last Planner:

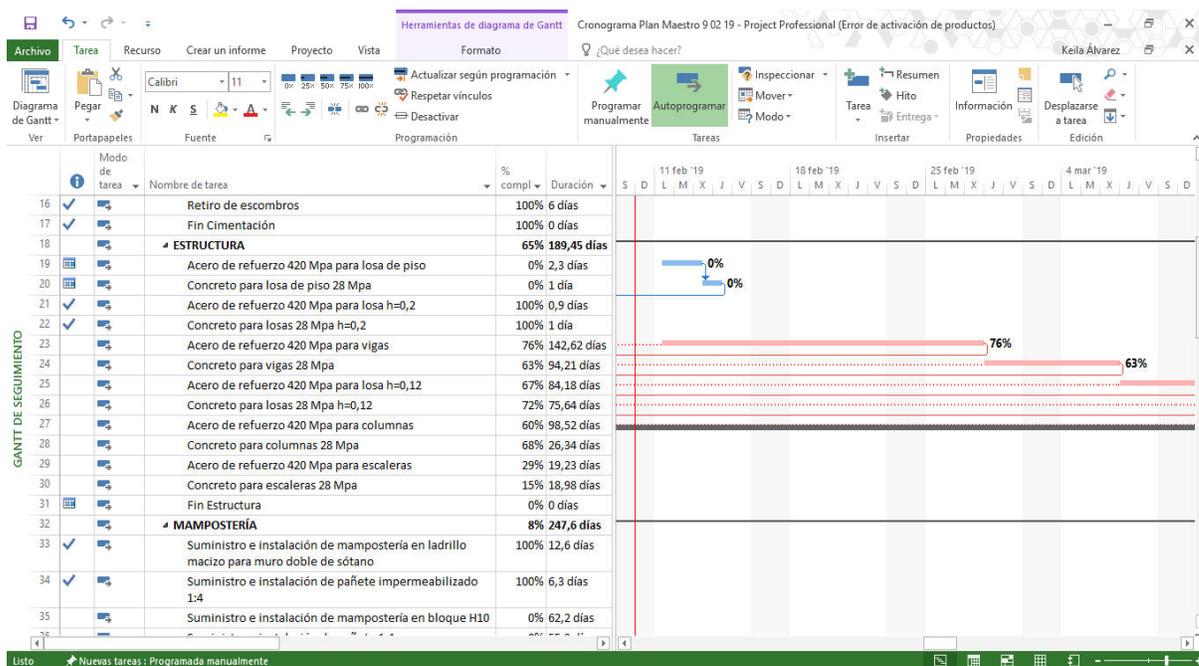


Figura 12. Cronograma plan maestro. Autores (2019)

A la fecha del 09 de febrero de 2019, cuando se comenzó a implementar el sistema Last Planner, el proyecto edificio verde estaba ejecutado en un 44%.

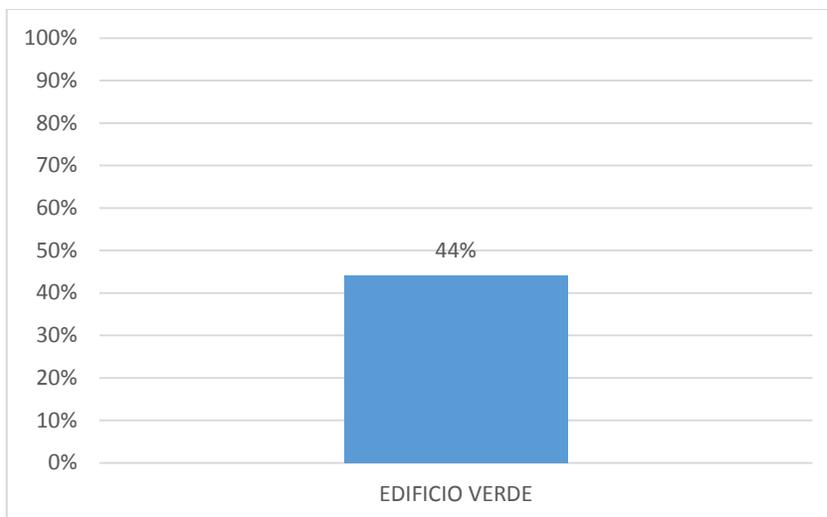


Figura 13. Porcentaje completado hasta el 9 de febrero de 2019. Autores (2019)

El cronograma completo se encuentra en el *Apéndice D*.

Es importante aclarar que el plan maestro debe realizarse para el proyecto en su totalidad, aunque el sistema Last Planner sea implementado solo en algunas etapas de la obra.

**6.1.2 Planificación intermedia.** La planificación intermedia consiste en mirar hacia el futuro, involucra lo que puede hacerse tomando en consideración las restricciones que impidan la satisfactoria ejecución de cada actividad, a su vez, el análisis de esas restricciones permite anticiparse al problema, detectarlo antes de que aparezca y liberar las actividades para enviarlas al inventario de trabajo ejecutable (ITE). Además, este nivel de planificación, incluye la asignación de responsables para la liberación de restricciones, por cada compromiso asumido en consenso con los últimos planificadores del proyecto (el residente de obra y el maestro).

El desarrollo de la planificación intermedia inició el 9 de febrero de 2019 en la primera reunión con los últimos planificadores, en donde se acordó que el período de tiempo escogido para su aplicación en el proyecto, fuera de 4 semanas para un mayor detalle de la planificación, actualizando semana tras semana, comenzando por dividir las actividades extraídas de la estructura de desglose de trabajo (EDT) del plan maestro en subactividades.

**6.1.2.1 Análisis de restricciones.** El análisis de restricciones es una pieza clave para el desarrollo del sistema, fue el primer paso para liberar las actividades, es decir, prepararlas para ser enviadas al inventario de trabajo ejecutable (ITE). En el rango de las 4 semanas de la planificación intermedia, se analizaron las posibles restricciones que limitaban la ejecución de cada actividad, clasificándolas en 5 tipos: diseño, materiales, mano de obra, equipos y prerequisites. Las restricciones presentadas durante la implementación se muestran a continuación:

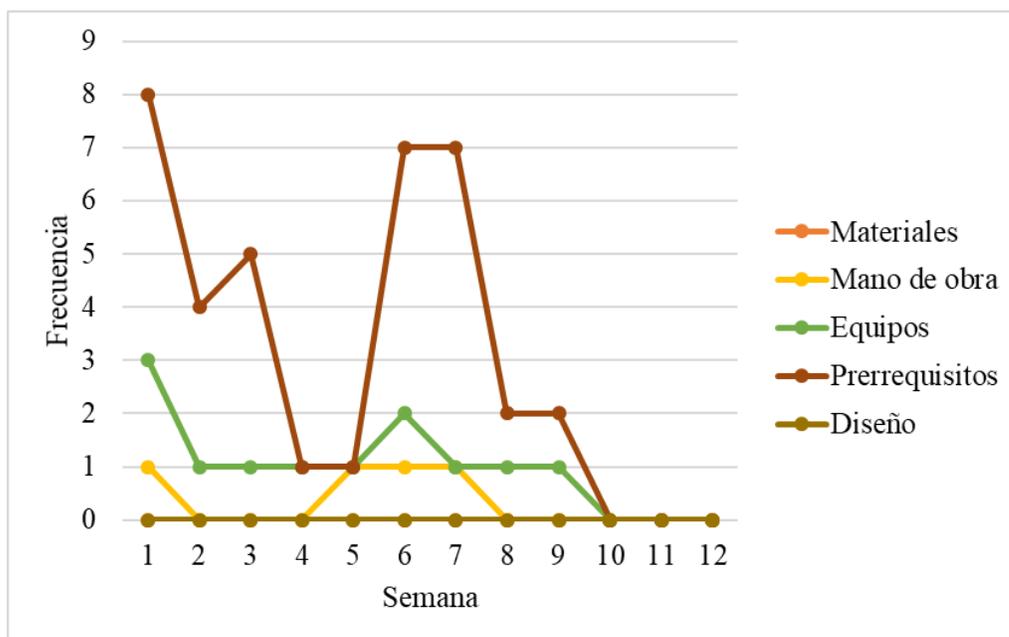


Figura 14. Restricciones. Autores (2019)

De la figura 14 se observa que la restricción prerrequisitos es la más frecuente, esto se debe a que las restricciones de las actividades predecesoras influyen en las actividades posteriores impidiendo su ejecución generando el prerrequisito.

**6.1.2.2 Asignación de responsables.** Luego de un correcto análisis de restricciones se procedió a asignar responsables y fechas de inicio/terminación para cada actividad programada y para la liberación de restricciones, en consenso con los últimos planificadores. Los últimos planificadores en el proyecto edificio verde, fueron: Jose Barbosa, residente de obra y Edinson Pinzón, maestro de obra.

**6.1.2.3 Inventario de trabajo ejecutable (ITE).** Las actividades anexadas al ITE, fueron aquellas que contaban con los recursos humanos, materiales y equipo para ser ejecutadas en cualquier momento, aprovechando su estado de liberación incluso para cubrir los espacios dejados por actividades que en momento de ser ejecutadas algún imprevisto impidió su cumplimiento, o lapsos en los que se había terminado el trabajo programado antes de lo previsto. El inventario de trabajo ejecutable reduce desperdicios de tiempo y aumenta el porcentaje de plan completado (PPC).

**6.1.3 Plan semanal.** El plan semanal describe lo que se hará, en este punto se encuentran las tareas más detalladas y libres de restricciones, en manos del último planificador.

El plan semanal muestra lo que realmente se hizo en la obra, y a través del porcentaje de plan completado (PPC), se midió qué tan efectiva fue la planificación. A aquellas actividades que

no logran completarse en el tiempo estipulado, se les determinó la causa de no cumplimiento (CNC) con el fin de mejorar continuamente y no repetir los mismos errores.

**6.2 Identificar las actividades, junto con los últimos planificadores, correspondientes a las planificaciones intermedia y semanal del proyecto edificio verde por medio del análisis de restricciones, inventario de trabajo ejecutable y asignación de responsables.**

En reuniones con el residente y el maestro de obra, se analizó cada actividad a ejecutar durante la implementación del sistema, dividiéndola en subactividades, asignando responsables y fechas para la liberación de las mismas, siendo analizadas desde la planificación intermedia en rangos de 4 semanas, actualizados semana tras semana, eliminando restricciones lo antes posible para enviar las actividades al inventario de trabajo ejecutable.

A continuación, se presenta la subdivisión de actividades ejecutadas en el tiempo de implementación del sistema en la obra:

Tabla 7.  
*División de actividades en subactividades*

---

**Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa**

---

Amarre y colocación de Acero  
 Encofrado y apuntalamiento  
 Preparación y vaciado de mezcla de concreto  
 Curado  
 Desencofrado

---

**Acero de refuerzo 420 MPa para columnas**

---

Corte del acero  
 Figurado del acero

Tabla 7. Continuación

---

**Columnas en concreto reforzado 28 MPa**


---

Replanteo

Amarre y colocación de Acero

Encofrado y apuntalamiento de la columna

Preparación y vaciado de mezcla de concreto

Desencofrado

Curado

---

**Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras**


---

Corte del acero

Figurado del acero

Tabla 7. Continuación

---

**Escaleras en concreto reforzado 28 MPa**


---

Colocación de formaleta

Amarre y colocación de Acero

Preparación y vaciado de concreto

Retiro de escalera en madera y formaleta

---

**Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras**


---

Corte del acero

Figurado del acero

---

**Columnetas y vigas medianeras en concreto reforzado 28 MPa**


---

Replanteo y nivelación

Amarre y colocación de Acero

Encofrado y apuntalamiento

Preparación y vaciado de mezcla de concreto

Desencofrado

Curado

---

**Mampostería en ladrillo macizo para muro de ascensor**


---

Nivelación y replanteo

Preparación de mortero

Colocación de ladrillos

---

**Mampostería en bloque H10**


---

Nivelación y replanteo

Preparación de mortero

Colocación de ladrillos

---

**Acero de refuerzo 420 MPa para vigas**


---

Corte del acero

Figurado del acero

---

**Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,12**


---

Tabla 7. Continuación

---

Corte del acero

Figurado del acero

---

*Nota:* Elaboración propia

Las actividades de acero y concreto para columnetas y vigas medianeras del ascensor, no se habían incluido en el plan maestro por falta de diseño y especificaciones, pero fueron incluidas en la planificación intermedia, siendo ejecutadas durante la implementación.

Después de identificadas las actividades y subactividades se planificó el primer rango de la planificación intermedia, se analizaron sus restricciones y se asignaron responsables de liberarlas como se muestra en la siguiente figura:



La planificación intermedia de los siguientes rangos se encuentra en el *Apéndice E*.

Con base en la planificación intermedia, se elaboró el inventario de trabajo ejecutable

(ITE):

<b>INVENTARIO DE TRABAJO EJECUTABLE</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Fecha termino</b>
<b>LOSA 5</b>	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para columnas</b>	
Corte del acero	28-feb-19
<b>ESCALERAS</b>	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras</b>	
Corte del acero	27-feb-19
<b>Escaleras 28 MPa en concreto reforzado</b>	
Colocación de formaleta	5-mar-19
<b>ASCENSOR</b>	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras</b>	
Corte del acero	11-mar-19
<b>Columnetas y v.medianeras 28 MPa en concreto reforzado</b>	
Replanteo y nivelación	13-mar-19

*Figura 16.* Inventario de trabajo ejecutable para la semana 2. Autores (2019)

El ITE desarrollado durante la implementación se puede observar en su totalidad en el

*Apéndice F.*

Posteriormente se establecen las cantidades a ejecutar de las subactividades durante la primera semana del rango de la planificación intermedia y se consignan los compromisos acordados en la reunión en un acta:

<b>ACTA DE REUNIÓN SEMANAL</b>		
AN°1	Fecha: 09/02/19/	
<b>OBJETIVO DE LA REUNIÓN:</b>		
<b>Identificar y descomponer las actividades a desarrollar durante la implementación del sistema</b> <b>Planificar las primeras 4 semanas de la implementación</b> <b>Planificar semana 1</b> <b>Determinar el ITE de la semana 1</b>		
<b>AGENDA DE REUNIÓN</b>		
1 Identificación y descomposición de las actividades a desarrollar 2 Planificación y análisis de restricciones de las semana 1-semana 4 3 Planificación semana 1 4 Determinación del ITE para la semana 1		
<b>DESARROLLO DE LA REUNIÓN</b>		
<p>Las actividades principales (vigas y losas en cto, acero de refuerzo, escaleras, ascensor, mampostería) a ejecutar durante la planificación, se descomponen en subactividades</p> <p>Se planifican las actividades a ejecutar durante las primeras 4 semanas de la implementación, se analizan las restricciones presentes a la fecha y se asignan responsables y fechas para su liberación</p> <p>Verificando que para las actividades de la semana 1 no se tiene ninguna restricción se procede a asignar responsables y fechas de ejecución</p> <p>Se determina el ITE para la semana 1</p>		
<b>ACTA DE REUNION SEMANAL</b>		
AN°1	Fecha: 09/02/19/	
<b>OBJETIVO DE LA REUNIÓN:</b>		
<b>Identificar y descomponer las actividades a desarrollar durante la implementación del sistema</b> <b>Planificar las primeras 4 semanas de la implementación</b> <b>Planificar semana 1</b> <b>Determinar el ITE de la semana 1</b>		
<b>ACUERDOS</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>Fecha acordada</b>
Encofrado y apuntalamiento para vigas y losas (losa 5)	Danuil Guerrero	23/02/2019
Amarre y colocación de acero para vigas y losas (losa 5)	Juan Caballero	23/02/2019
Liberar restricción de mano de obra y equipo de la preparación y vaciado de mezcla de cto de vigas y losas (losa 5)	Jose Barbosa	25/02/2019
Liberar restricción de equipo de la preparación y vaciado de mezcla de cto de columnas (losa 5)	Jose Barbosa	6/03/2019
Liberar restricción de equipo de la preparación y vaciado de mezcla de cto de escaleras (p2- p4)	Jose Barbosa	10/03/2019

Figura 17. Acta de reunión No. 1. Autores (2019)

Las actas de todas las reuniones se pueden observar en el *Apéndice G*.

Al finalizar cada semana se realiza una nueva reunión para determinar el desempeño de cada actividad que había sido programada a través del porcentaje de plan completado (PPC) y las causas de no cumplimiento (CNC), además de planificar el nuevo rango de planificación intermedia:

REGISTRO DE PLANIFICACIÓN SEMANAL													
ACTIVIDAD	Semana <b>1</b>	Carta Gantt Semanal					Responsable	Meta			Causas de no cumplimiento		
		L	M	M	J	V		S	Programadas	Cumplidas		%PPC	
		18	19	20	21	22	23						
<b>LOSA 5</b>													
<b>Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa</b>													
Encofrado y apuntalamiento							Danuil Guerrero	78,57%	178,83	68,61%	145,00	0	Problemas con proveedores
Amarre y colocación de acero							Juan Caballero	78,57%	7268,67	69,23%	6404,61	0	Prerrequisitos incompletos
											0,00%		

Figura 18. Resultados de la planificación de la semana 1. Autores (2019)

Los resultados obtenidos semana tras semana se muestran en el *Apéndice H*.



<b>INVENTARIO DE TRABAJO EJECUTABLE</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Fecha termino</b>
<b>ASCENSOR</b>	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras</b>	
Corte del acero	13-mar-19
<b>Columnetas y v.medianeras en concreto reforzado 28 MPa</b>	
Replanteo y nivelación	20-mar-19
<b>LOSA 6</b>	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para vigas</b>	
Corte del acero	18-mar-19
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,12</b>	
Corte del acero	18-mar-19

Figura 20. Inventario de trabajo ejecutable para la semana 3. Autores (2019)

<b>ACTA DE REUNIÓN SEMANAL</b>		
AN°2	Fecha: 23/02/19/	
<b>OBJETIVO DE LA REUNIÓN:</b>		
<b>Determinar desempeño de la semana 1</b> <b>Planificar y analizar restricciones semana 2-5</b> <b>Determinar el ITE de la semana 2</b>		
<b>AGENDA DE REUNIÓN</b>		
1 Dar a conocer PPC semanal 2 Determinación de las CNC 3 Planificación y análisis de restricciones de las semana 2- semana 5 4 Planificación semana 2 5 Determinación del ITE para la semana 2		
<b>DESARROLLO DE LA REUNIÓN</b>		
<p>El PPC de la semana 1 fue del 0% debido a que las 2 actividades programadas no se cumplieron totalmente</p> <p>Las CNC para la subactividad de encofrado y apuntalamiento (losa 5), fue problemas con los proveedores pues no enviaron el total de equipo necesario; para la subactividad de amarre y colocación de acero la cnc fue el prerrequisito incompleto (encofrado y apuntalamiento)</p> <p>Se actualiza la planificación intermedia para las semanas 2-5, acordando con los últimos planificadores eliminar las restricciones de equipo de la preparación y vaciado de la mezcla de concreto de la losa 5 y prerrequisito de desencofrado y curado de la misma, estableciendo fechas límite de cumplimiento</p> <p>Verificando que para las actividades de la semana 2 no se tiene ninguna restricción se procede a asignar responsables y fechas de ejecución</p> <p>Se determina el ITE para la semana 2</p> <p>Las actividades programadas no completadas en la semana anterior, se programan nuevamente para completarse en la semana actual</p>		
<b>ACTA DE REUNIÓN SEMANAL</b>		
AN°2	Fecha: 23/02/19/	
<b>OBJETIVO DE LA REUNIÓN:</b>		
<b>Determinar desempeño de la semana 1</b> <b>Planificar y analizar restricciones semana 2-5</b> <b>Determinar el ITE de la semana 2</b>		
<b>ACUERDOS</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>Fecha acordada</b>
Encofrado y apuntalamiento para vigas y losas (losa 5)	Danuil Guerrero	25/02/2019
Amarre y colocación de acero para vigas y losas (losa 5)	Juan Caballero	25/02/2019
Preparación y vaciado de mezcla de concreto para vigas y losas (losa 5)	Danuil Guerrero	26/02/2019
Curado (losa 5)	Alejandro Guzmán	2/03/2019
Corte del acero columnas losa 5	Adinael Tellez	28/02/2019
Figurado del acero columnas losa 5	Melquisedec Tellez	28/02/2019
Corte del acero escaleras P2- P4	Alejandro Gallardo	27/02/2019
Figurado del acero escaleras P2- P4	Ciro Alfonso Mogollón	2/03/2019
Colocación de formaleta escalera P2	William Guzmán Uribe	2/03/2019
Liberar restricción de equipo de la preparación y vaciado de mezcla de cto de las columnas del piso 5	Jose Barbosa	7/03/2019

Figura 21. Acta de reunión semanal 2. Autores (2019)

REGISTRO DE PLANIFICACIÓN SEMANAL														
ACTIVIDAD	Semana	Carta Gantt Semanal						Responsable	Meta			Causas de no cumplimiento		
	2	L	M	M	J	V	S		Programadas	Cumplidas	%PPC			
		25	26	27	28	1	2							
<b>LOSA 5</b>														
<b>Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa</b>														
Encofrado y apuntalamiento								Danuil Guerrero	31,39%	66,34	31,39%	66,34	1	
Amarre y colocación de Acero								Juan Caballero	30,77%	2846,59	30,77%	2846,59	1	
Preparación y vaciado de mezcla de concreto								Danuil Guerrero	100,00%	42,27	100,00%	42,27	1	
Curado								Alejandro Guzmán	57,14%	2536,08	57,14%	2536,08	1	
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para columnas</b>														
Corte del acero								Adinael Tellez	100,00%	34 11,80	100,00%	34 11,80	1	
Figurado del acero								Melquiseded Tellez	100,00%	34 11,80	100,00%	34 11,80	1	
<b>ESCALERAS</b>														
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras</b>														
Corte del acero		P2						Alejandro Gallardo	100,00%	1068,00	33,33%	356,00	0	Mala programación
Figurado del acero		P2	P2					Ciro Alfonso Mogollón	100,00%	1068,00	33,33%	356,00	0	Prerrequisitos incompletos
<b>Escaleras en concreto reforzado 28 MPa</b>														
Colocación de formaleta					P2			William Guzmán Uribe	33,33%	15,90	33,33%	15,90	1	
Amarre y colocación de Acero					P2	P2		Manuel Trujillo	0,00%	0,00	33,33%	356,00	1	
Preparación y vaciado de concreto						P2		Adinael Tellez	0,00%	0,00	33,33%	2,00	1	
<b>ASCENSOR</b>														
<b>Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras</b>														
Corte del acero							P1	Martín Balaguera	0,00%	0,00	33,33%	364,93	1	
													83%	

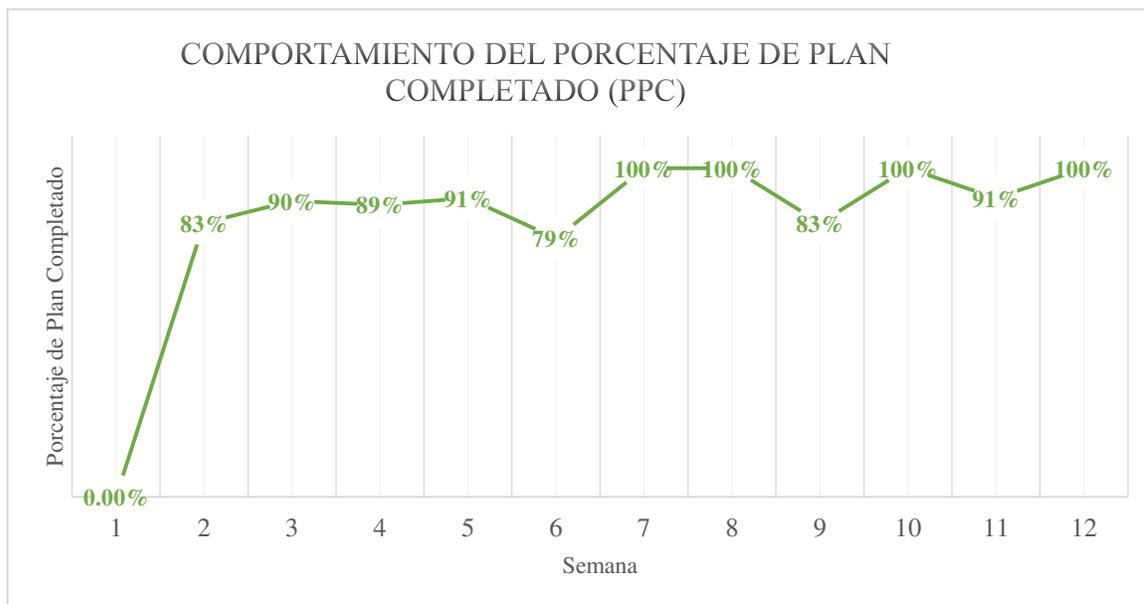
Figura 22. Planificación semanal 2. Autores (2019)

**6.3 Determinar el desempeño del plan de trabajo semanal mediante el resultado del porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento surgidas para implementar mejoras que permitan obtener un sistema más eficiente.**

**6.3.1 Porcentaje de plan completado (PPC).** La manera de medir y controlar la planificación es relacionando el número de actividades previstas completadas con el número de actividades previstas, cada semana, a esto le llamamos, porcentaje de plan completado o PPC y se describe porcentualmente así:

$$PPC [\%] = \frac{\# \text{ Actividades previstas completadas}}{\# \text{ Actividades previstas}} * 100$$

De tal forma, se midió el PPC, semana tras semana, durante la implementación del sistema Last Planner en el proyecto edificio verde, arrojando el siguiente comportamiento:



*Figura 23.* Comportamiento del porcentaje de plan completado. Autores (2019)

En la figura 23, se observa que a excepción de la semana 1, el PPC superó el 79% a lo largo de la implementación del sistema Last Planner, enfatizando los resultados de las semanas 7, 8, 10 y 12, donde se alcanzó el 100%, es decir, la cantidad de actividades previstas ejecutadas igualaron a la cantidad de actividades previstas de cada semana. Sin embargo, en la semana 1, el PPC fue de 0%, debido a que no se completó la cantidad de actividad prevista.

**6.3.2 Causas de no cumplimiento (CNC).** Para aquellas actividades que no se lograban cumplir en el rango de tiempo establecido, se consultó con los últimos planificadores las causas de no cumplimiento (CNC), las cuales fueron:

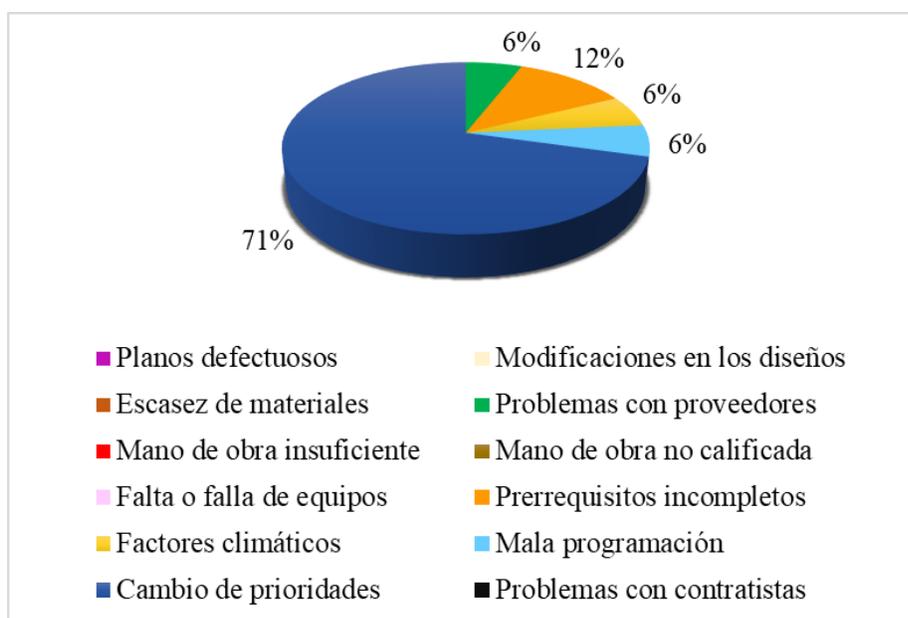


Figura 24. Causas de no cumplimiento. Autores (2019)

En la figura 24, se observa que la CNC más frecuente fue cambio de prioridades, con un 71% del total, seguida de prerrequisitos incompletos con un 12%; también se presentaron problemas con proveedores, factores climáticos y mala programación con un 6% de incidencia cada una. Las demás CNC no se presentaron en este proyecto.

**6.4 Analizar los resultados obtenidos durante la implementación del sistema Last Planner mediante el uso de métodos estadísticos y herramientas ofimáticas para su comparación con el sistema de planificación actual del proyecto.**

Antes de implementar el sistema Last Planner en el proyecto edificio verde, la fase de ejecución se llevaba a cabo sin una planificación; en consecuencia, no se realizaba el seguimiento y control de las actividades generando incertidumbre en el avance de obra.



*Figura 25.* Estado del edificio antes de la implementación del sistema Last Planner. Autores (2019)

Con la implementación del sistema Last Planner, se elaboró el plan maestro, la planificación intermedia y semanal, generando una planificación detallada de la obra que

permitió ejecutar con mayor certeza las actividades constituyentes del proyecto. Además de planificar se realizó el seguimiento de las actividades, verificando el cumplimiento de las mismas en los rangos de tiempo establecidos, a través de un control de avance de obra que abarca flujos de caja, avances semanales y acumulados obteniendo la curva s del proyecto durante las 12 semanas de la implementación.



*Figura 26.* Estado del edificio después de la implementación del sistema Last Planner. Autores (2019)

De este modo, se elaboró un flujo de caja según el cronograma programado para las 12 semanas antes de la implementación. A continuación, se muestra dicho cronograma con su correspondiente flujo de caja:



ACTIVIDADES	UND.	CANT.	VR UNITARIO	VR TOTAL	DURACION DIAS	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6	SEM. 7	SEM. 8	SEM. 9	SEM. 10	SEM. 11	SEM. 12	
<b>LOSA 5</b>																		
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa	m³	42,27	\$ 564.333,00	\$ 23.854.355,91	24	\$ 5.963.588,98	\$ 5.963.588,98	\$ 2.981.794,49		\$ 5.963.588,98	\$ 2.981.794,49							
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas	kg	34.118	\$ 3.535,00	\$ 120.600.783,00	2		\$ 120.600.783,00											
Columnas en concreto reforzado 28 MPa	m³	12,8	\$ 655.576	\$ 8.391.375,36	25			\$ 1892.461,82	\$ 1892.461,82	\$ 1892.461,82	\$ 1892.051,52	\$ 690.820,81						
<b>Total LOSA 5</b>				<b>\$ 44.175.526,51</b>		<b>\$ 5.963.588,98</b>	<b>\$ 18.024.301,98</b>	<b>\$ 4.354.256,31</b>	<b>\$ 1.982.461,82</b>	<b>\$ 7.946.050,80</b>	<b>\$ 4.833.846,01</b>	<b>\$ 660.820,81</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>
<b>ESCALERAS</b>																		
Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras	kg	1968	\$ 3.326,00	\$ 6.547.608,00	6		\$ 3.552.168,00											
Escaleras en concreto reforzado 28 MPa	m³	6	\$ 453.430,00	\$ 2.720.580,00	20		\$ 136.029,00	\$ 816.174,00	\$ 816.174,00	\$ 816.174,00	\$ 136.029,00							
<b>Total ESCALERAS</b>				<b>\$ 6.272.748,00</b>		<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 3.688.197,00</b>	<b>\$ 816.174,00</b>	<b>\$ 816.174,00</b>	<b>\$ 816.174,00</b>	<b>\$ 366.029,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>
<b>ASCENSOR</b>																		
Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras	kg	1044,8	\$ 6.123,00	\$ 6.393.486,40	6			\$ 2.234.486,80	\$ 2.234.486,80	\$ 2.234.486,80								
Columnetas y medianeras en concreto reforzado 28 MPa	m³	2,22	\$ 385.095,00	\$ 854.711,10	25			\$ 102.565,33	\$ 102.565,33	\$ 102.565,33	\$ 170.942,22	\$ 205.60,08	\$ 170.942,22					
Mampostería en ladrillo macizo para muro de ascensor	m²	513	\$ 36.260,00	\$ 18.601.380,00	9						\$ 1240.092,00	\$ 620.046,00						
<b>Total ASCENSOR</b>				<b>\$ 9.449.309,50</b>		<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 2.337.052,13</b>	<b>\$ 2.337.052,13</b>	<b>\$ 3.577.144,13</b>	<b>\$ 170.942,22</b>	<b>\$ 825.176,66</b>	<b>\$ 170.942,22</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>
<b>MAMPOSTERIA</b>																		
Mampostería en bloque HD	m²	630,27	\$ 17.677,00	\$ 11.137.682,70	17											\$ 4.316.671,11	\$ 5.800.005,69	\$ 5.800.005,69
<b>Total MAMPOSTERIA</b>				<b>\$ 11.137.682,70</b>		<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 4.316.671,11</b>	<b>\$ 5.800.005,69</b>	<b>\$ 5.800.005,69</b>
<b>LOSA 6</b>																		
Acero de refuerzo 420 MPa para vigas	kg	4632	\$ 4.439,00	\$ 20.561.448,00	3					\$ 20.561.448,00								
Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=10,12	kg	3745,2	\$ 3.326,00	\$ 12.456.535,20	2					\$ 12.456.535,20								
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa	m³	4.142	\$ 564.333,00	\$ 2.337.672,86	34					\$ 2.749.961,51	\$ 3.437.451,89	\$ 4.124.942,27	\$ 4.124.942,27	\$ 1374.980,76		\$ 4.124.942,27	\$ 3.437.451,89	
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas	kg	2274,6	\$ 3.535,00	\$ 8.040.367,50	2									\$ 8.040.367,50				
Columnas en concreto reforzado 28 MPa	m³	8,4	\$ 655.576,00	\$ 5.506.838,40	22									\$ 125.1554,18	\$ 125.1554,18	\$ 150.1895,02	\$ 150.1895,02	
<b>Total LOSA 6</b>				<b>\$ 69.938.851,96</b>		<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 35.767.944,71</b>	<b>\$ 3.437.451,89</b>	<b>\$ 4.124.942,27</b>	<b>\$ 4.124.942,27</b>	<b>\$ 10.666.892,44</b>	<b>\$ 125.1554,18</b>	<b>\$ 5.626.807,29</b>	<b>\$ 4.939.316,91</b>	<b>\$ 0,00</b>
<b>LOSA 7</b>																		
Acero de refuerzo 420 MPa para vigas	kg	1100	\$ 4.439,00	\$ 4.882.900,00	2												\$ 4.882.900,00	
Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=10,12	kg	626,9	\$ 3.326,00	\$ 2.084.736,90	1												\$ 2.084.736,90	\$ 1.128.666,00
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa	m³	2,00	\$ 564.333,00	\$ 1.128.666,00	1													\$ 1.128.666,00
<b>Total LOSA 7</b>				<b>\$ 8.096.302,90</b>		<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 6.967.636,90</b>	<b>\$ 1.128.666,00</b>
<b>AVANCE SEMANAL</b>				<b>\$ 5.963.588,98</b>		<b>\$ 21.712.499</b>	<b>\$ 8.117.482</b>	<b>\$ 5.135.688</b>	<b>\$ 48.107.314</b>	<b>\$ 8.378.269</b>	<b>\$ 5.610.940</b>	<b>\$ 4.295.884</b>	<b>\$ 10.666.892</b>	<b>\$ 5.568.226</b>	<b>\$ 17.774.450</b>	<b>\$ 11.247.988</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>
<b>AVANCE ACUMULADO</b>				<b>\$ 5.963.588,98</b>		<b>\$ 27.676.688</b>	<b>\$ 35.793.570</b>	<b>\$ 40.929.258</b>	<b>\$ 89.036.572</b>	<b>\$ 97.414.841</b>	<b>\$ 103.025.781</b>	<b>\$ 107.321.665</b>	<b>\$ 117.988.558</b>	<b>\$ 123.556.783</b>	<b>\$ 141.331.233</b>	<b>\$ 152.579.222</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 0,00</b>
						3,91%	18,14%	23,66%	26,82%	58,36%	63,86%	67,52%	70,34%	77,33%	80,98%	82,63%	100,00%	100,00%
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				<b>\$ 152.579.221,56</b>														
<b>ADMINISTRACION</b>		15%		<b>\$ 22.886.883,23</b>														
				<b>\$ 175.466.104,79</b>														

Figura 28. Flujo de caja programado. Autores (2019)

A partir de la información interior, se graficó la curva S programada:

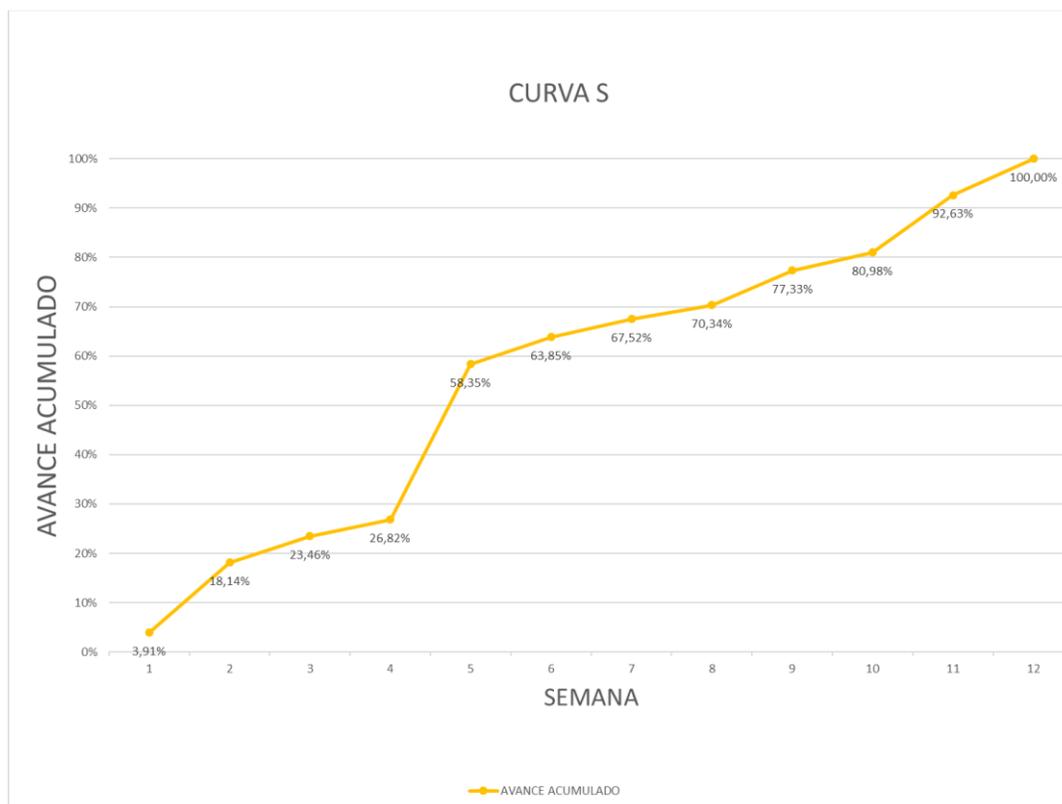


Figura 29. Curva S programada. Autores (2019)

Posteriormente, se registraba el porcentaje de avance semanal y acumulado en cuanto a costo de cada capítulo. Por ejemplo, para la semana 3 se obtuvieron los siguientes resultados:

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER BAJO LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN EL PROYECTO EDIFICIO VERDE EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER				AVANCE SEMANAL	
SEMANA N°	<b>3</b>	DEL	4 de marzo de 2019	AL	9 de marzo de 2019
<b>RESUMEN DEL ESTADO DE LA OBRA</b>					
<b>CONTROL DE PROGRAMACIÓN</b>					
<b>EJECUCIÓN SEMANAL POR CAPÍTULOS</b>					
CAPITULO SEGÚN CONTRATO DE OBRA		PORCENTAJE DE EJECUCIÓN PROGRAMADO		PORCENTAJE DE EJECUCIÓN	
<b>LOSA 5</b>					
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa		1,95%		0,92%	
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas		0,00%		0,00%	
Columnas en concreto reforzado 28 MPa		1,30%		1,39%	
<b>ESCALERAS</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras		0,00%		0,78%	
Escaleras en concreto reforzado 28 MPa		0,53%		0,45%	
<b>ASCENSOR</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras		1,46%		0,73%	
Columnetas y v.medianeras en concreto reforzado 28 MPa		0,07%		0,06%	
Mampostería en ladrillo macizo para muro de ascensor		0,00%		0,20%	
<b>MAMPOSTERÍA</b>					
Mampostería en bloque H10		0,00%		0,00%	
<b>LOSA 6</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para vigas		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,12		0,00%		0,00%	
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas		0,00%		0,00%	
Columnas en concreto reforzado 28 MPa		0,00%		0,00%	
<b>LOSA 7</b>					
Acero de refuerzo 420 Mpa para vigas		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 Mpa para losa h=0,12		0,00%		0,00%	
Vigas y losas en concreto reforzado 28 Mpa		0,00%		0,00%	
<b>TOTAL SEMANA</b>		<b>5,32%</b>		<b>4,53%</b>	
<b>BALANCE DE OBRA EJECUTADA INCLUIDO GASTOS EN ADMINISTRACION</b>		<b>VR. TOTAL CONTRATO</b>	<b>VR. TOTAL EJECUTADO</b>	<b>VR. POR EJECUTAR</b>	<b>AVANCE DE INVERSIÓN</b>
		\$175.466.104,79	\$7.947.680,38	\$167.518.424,41	<b>SEMANA</b> <b>4,53%</b>

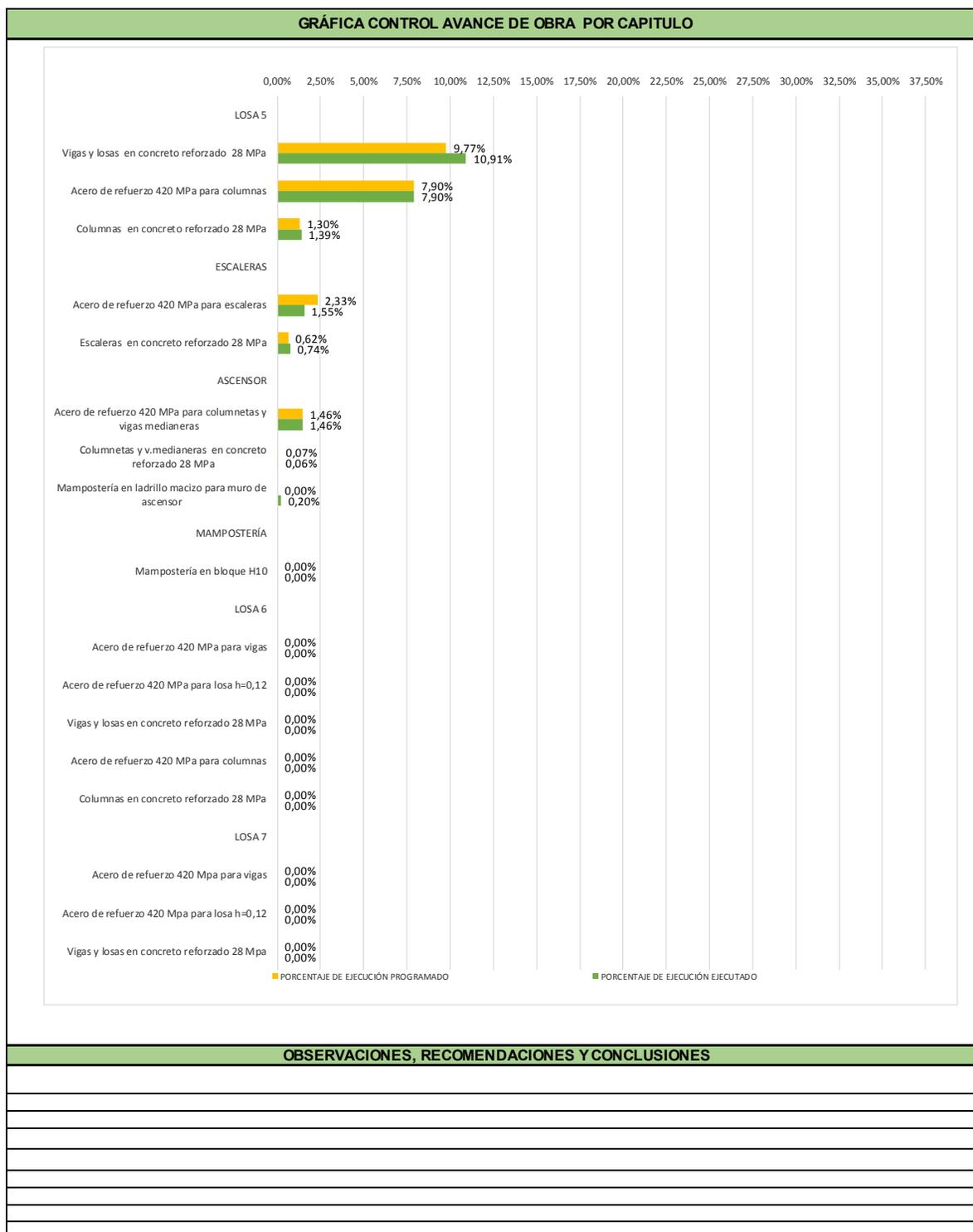
Figura 30. Avance semanal 3. Autores (2019)



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER BAJO LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN EL PROYECTO EDIFICIO VERDE EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER				AVANCE ACUMULADO	
SEMANA N°	<b>3</b>	DEL	4 de marzo de 2019	AL	9 de marzo de 2019
<b>II. RESUMEN ESTADO DE OBRA</b>					
<b>CONTROL DE PROGRAMACIÓN</b>					
<b>EJECUCIÓN SEMANAL POR CAPITULOS</b>					
CAPITULO SEGÚN CONTRATO DE OBRA		PORCENTAJE DE EJECUCIÓN PROGRAMADO		PORCENTAJE DE EJECUCIÓN EJECUTADO	
<b>LOSA 5</b>					
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa		9,77%		10,91%	
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas		7,90%		7,90%	
Columnas en concreto reforzado 28 MPa		1,30%		1,39%	
<b>ESCALERAS</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para escaleras		2,33%		1,55%	
Escaleras en concreto reforzado 28 MPa		0,62%		0,74%	
<b>ASCENSOR</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para columnetas y vigas medianeras		1,46%		1,46%	
Columnetas y v. medianeras en concreto reforzado 28 MPa		0,07%		0,06%	
Mampostería en ladrillo macizo para muro de ascensor		0,00%		0,20%	
<b>MAMPOSTERÍA</b>					
Mampostería en bloque H10		0,00%		0,00%	
<b>LOSA 6</b>					
Acero de refuerzo 420 MPa para vigas		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 MPa para losa h=0,12		0,00%		0,00%	
Vigas y losas en concreto reforzado 28 MPa		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 MPa para columnas		0,00%		0,00%	
Columnas en concreto reforzado 28 MPa		0,00%		0,00%	
<b>LOSA 7</b>					
Acero de refuerzo 420 Mpa para vigas		0,00%		0,00%	
Acero de refuerzo 420 Mpa para losa h=0,12		0,00%		0,00%	
Vigas y losas en concreto reforzado 28 Mpa		0,00%		0,00%	
<b>TOTAL SEMANAS ANTERIORES</b>		<b>23,46%</b>		<b>24,23%</b>	
<b>BALANCE DE OBRA EJECUTADA INCLUIDO GASTOS EN ADMINISTRACION</b>	<b>VR. TOTAL CONTRATO</b>	<b>VR. TOTAL EJECUTADO</b>	<b>VR. POR EJECUTAR</b>	<b>AVANCE DE INVERSIÓN</b>	<b>ACUMULADO</b>
	\$175.466.104,79	\$42.507.93185	\$132.958.172,94		<b>24,23%</b>

Figura 31. Avance acumulado 3. Autores (2019)

Figura 31. Continuación



Por otra parte, se compilaron los resultados de la planificación semanal en un cronograma ejecutado y su respectivo flujo de caja:

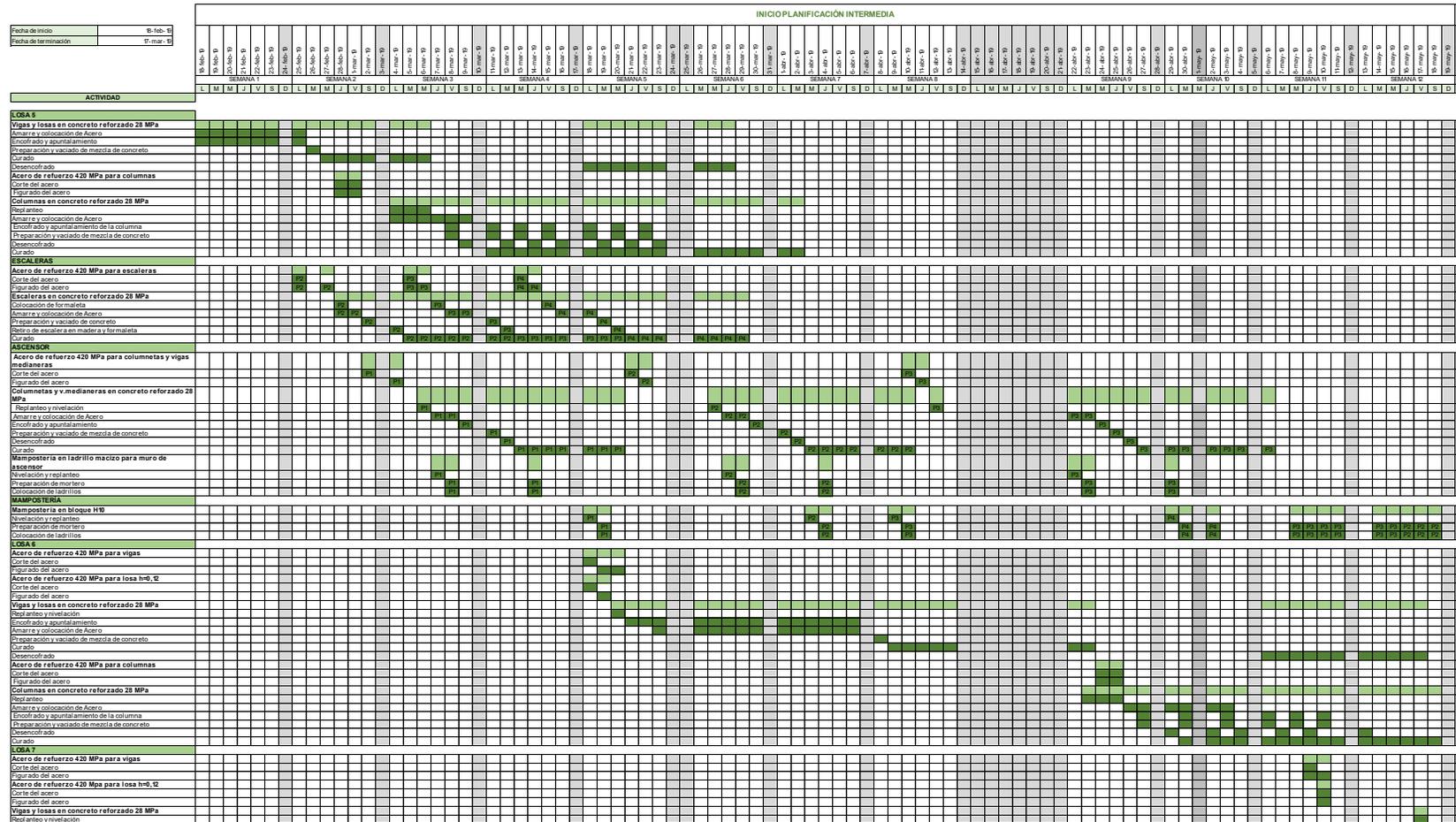


Figura 32. Cronograma ejecutado. Autores (2019)



Con base en la información anterior, se graficó la curva S arrojando el siguiente comportamiento:

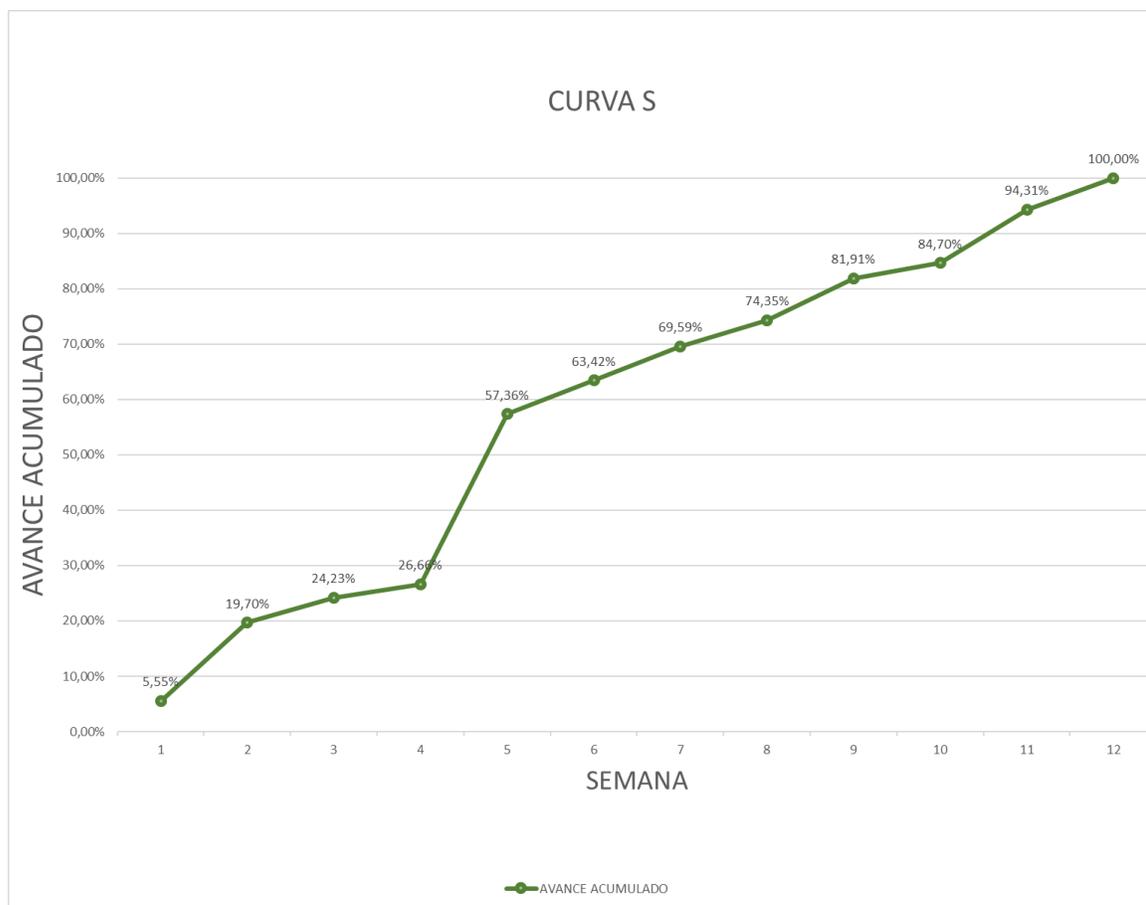
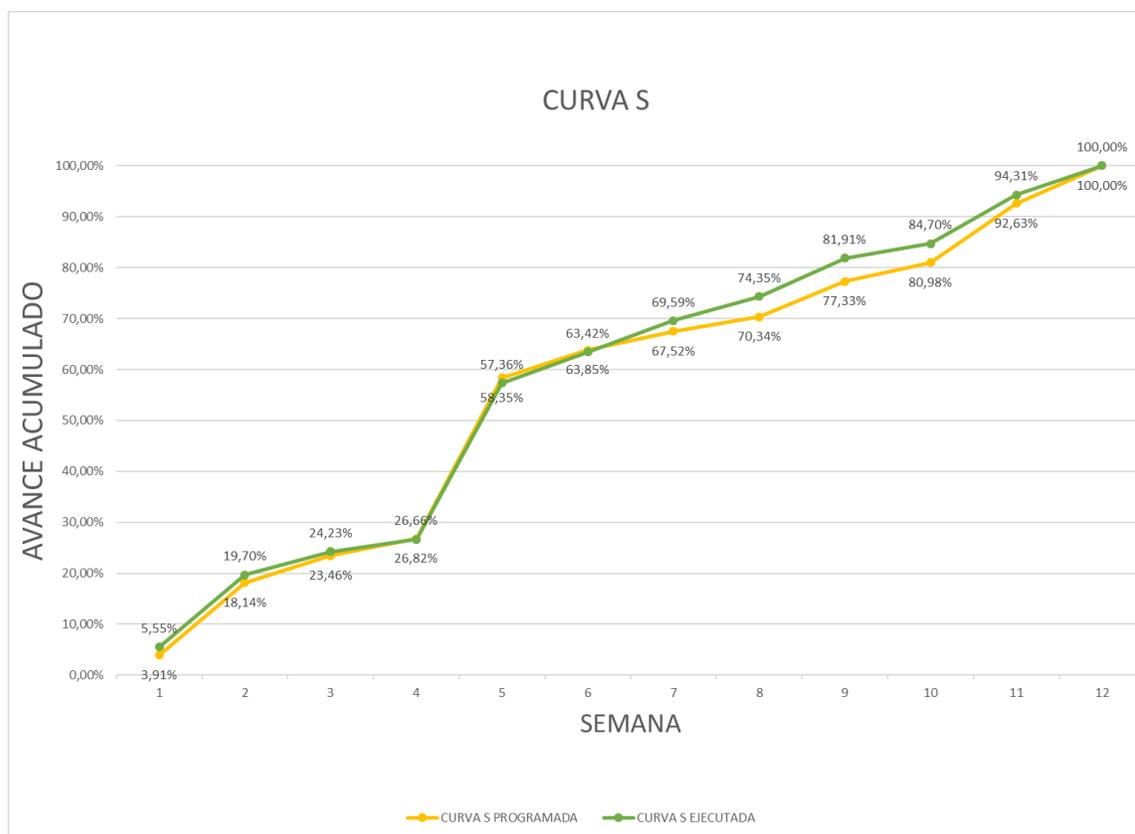


Figura 34. Curva S ejecutada. Autores (2019)

Además, se realizó una comparación entre la curva S programada y ejecutada:



*Figura 35.* Comparación entre la curva S programada y ejecutada. Autores (2019)

De la figura 35, se observa que la curva S ejecutada tuvo un comportamiento cercano a la curva S programada. En la mayoría de las semanas, el avance acumulado ejecutado de los costos estuvo por encima del avance programado excepto en las semanas 4, 5 y 6 donde estuvo por debajo con una variación mínima.

Es importante resaltar la importancia de elaborar la curva S programada con el fin de controlar y establecer acciones correctivas cuando sea necesario.

## Conclusiones

Con base en la descripción del proceso y la composición de cada uno de los niveles de planificación del sistema, se concluye que es importante planificar desde lo general hasta niveles de mayor detalle que se alcanzan planificando actividades para rangos de tiempo cada vez más reducidos. Además, para que el sistema de planificación sea eficaz, es necesario mantener un orden lógico de actividades en concordancia con la experiencia de los últimos planificadores, lo más ajustado posible a la realidad para garantizar con mayor seguridad que lo ejecutado será igual a lo planificado.

Durante la investigación se pudo constatar que uno de los factores determinantes para que el sistema Last Planner funcione correctamente, es la retroalimentación y adquisición de compromisos por parte del personal involucrado en el proyecto, para una correcta identificación y subdivisión de actividades, análisis de restricciones y una constante actualización del inventario de trabajo ejecutable.

Se concluye que la implementación del sistema Last Planner en la etapa estructural y de mampostería del proyecto edificio verde, aun sin alcanzar todas las semanas un PPC de 100%, es eficiente, pues las actividades previstas completadas tienden a ser las mismas actividades previstas. Además, la identificación las causas de no cumplimiento (CNC), permite encontrar el origen de los problemas, facilitando su eliminación y mejoramiento continuo del trabajo.

La comparación de las gráficas de las curvas S (programada vs ejecutada) permite concluir que, a pesar de las restricciones presentes a lo largo de la implementación, se alcanzó el 100% de

costos programados. Por lo tanto, el sistema Last Planner influyó positivamente en la ejecución de la obra ya que ambas curvas tienen comportamientos similares con una variación mínima.

En términos generales, la implementación del sistema Last Planner mejoró los procesos de planificación, seguimiento y control en el edificio verde.

## Recomendaciones

Se recomienda iniciar la implementación desde la etapa de planificación de obra para una mayor apreciación de los efectos del sistema y un mejor acoplamiento del recurso humano. Además, sería interesante emplearlo en varios proyectos simultáneos y similares, para comparación de su comportamiento y aplicación de los conceptos que involucra la filosofía Lean Construction.

En los proyectos en los que se desee implementar este sistema, es recomendable que cada miembro del equipo se disponga y comprometa entre sí, tanto a cumplir a tiempo con sus responsabilidades como a aceptar sugerencias que pretendan perfeccionar el trabajo y conseguir los resultados esperados en cuanto costos, tiempo y calidad de la obra. Asimismo, se aconseja la presencia de una interventoría rigurosa que controle, exija y verifique el cumplimiento de la planificación.

Dentro de una empresa, se sugiere integrar el sistema Last Planner con otras herramientas Lean Construction como el mapeo de la cadena de valor, el reporte A3, y modelado en BIM; que permitan realizar una mejor gestión de proyectos que optimicen los resultados del proyecto y de este modo maximice la eficiencia en los procesos.

## Lista de referencias

- Alarcón Cárdenas, L. F., & Serpell Bley, A. (2009). *Planificación y Control de Proyectos*. Santiago de Chile, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Alarcón, L. F., Salvatierra, J. L., & Letelier, J. A. (2014). Using Last Planner Indicators to Identify Early Signs of Project Performance. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Congreso llevado a cabo en Oslo, Noruega.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (6 de Febrero de 2003). Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción. *Revista Universidad EAFIT*, (30), 65-78.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (13 de Junio de 2005). Last planner, un avance en la planificación y control. *Ingeniería y Desarrollo*, (17), 148-159.
- Brioso Lescano, X. M. (2015). El análisis de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: Propuesta de regulación en España y su inclusión en la ley de la ordenación de la edificación. (*Tesis doctoral*). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Campero, M., & Alarcón, L. F. (2008). *Administración de Proyectos Civiles*. Santiago de Chile, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Fernández Sánchez, E., Avella Camarero, L., & Fernández Barcala, M. (2004). *Estrategia de producción*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- Forbes, L., & Ahmed, S. (2011). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. Boca Raton, Estados Unidos : Taylor and Francis Group, LLC.
- GEPRO. (26 de Abril de 2016). Obtenido de <http://www.gepro.cl/last-planner-system/>

- Hoyos Restrepo, M. F. (2018). Last Planner en Colombia. Una Revisión a la Implementación y su Impacto en el Desempeño de Proyectos de Construcción. (*Trabajo de Grado*). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Institute Lean Construction. (2017). *Lean Construction Institute | Lean Project Design & Delivery*. Obtenido de <https://www.leanconstruction.org/learning/education/glossary/>
- Letelier Osés, J. A. (2014). Análisis en el tiempo de Indicadores de Control de Avance utilizados en Software Computacional “IMPERA” para pronosticar eventos futuros en Proyectos de Construcción. (*Tesis pregrado*). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Lledó, P., Rivarola, G., Mercau, R., Cucchi, D., & Esquembre, J. F. (2006). *Administración Lean de Proyectos Eficiencia en la Gestión de Múltiples Proyectos*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
- Macomber, H., Howell, G. A., & Reed, D. (2005). Managing Promises With the Last Planner System: Closing in on Uninterrupted Flow. *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Congreso llevado a cabo en Sydney, Australia.
- Padilla, L. (Enero de 2010). Lean manufacturing Manufactura esbelta/ágil. *Ingeniería Primero*, (15), 64-69.
- Scheele, Westerman, & Wimmert. (1968). *Cómo implantar el control de producción*. Bilbao, España: Ediciones Deusto.
- Sundararajan, S., & Madhavi, T. C. (2018). Last Planner Implementation in Building Projects. *Proc. 26th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)*. Congreso llevado a cabo en Chennai, India.

Toyoda, E. (1987). *Toyota, fifty years in motion*. Japón: Kodansha International.

Toyota 75-Year Company History Editorial Committee. (2012). *Toyota Motor Corporation Global*. Obtenido de 75 Years of Toyota: [https://www.toyota-global.com/company/history\\_of\\_toyota/75years/text/index.html](https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/text/index.html)

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *La máquina que cambió el mundo*. (Mc Graw Hill). Madrid: Mc Graw Hill. (Trabajo original publicado en 1990)

## **Apéndices**

## **7.1 Apéndice A. Formatos empleados en la implementación del sistema Last Planner**

Ver archivo adjunto

## **7.2 Apéndice B. Planos arquitectónicos, estructurales, hidráulicos y sanitarios del proyecto edificio verde**

Ver archivo adjunto

### **7.3 Apéndice C. Presupuesto de obra**

Ver archivo adjunto

#### **7.4 Apéndice D. Cronograma plan maestro**

Ver archivo adjunto

## **7.5 Apéndice E. Planificación intermedia**

Ver archivo adjunto

## **7.6 Apéndice F. Inventario de trabajo ejecutable**

Ver archivo adjunto

## **7.7 Apéndice G. Actas de reuniones**

Ver archivo adjunto

## **7.8 Apéndice H. Planificación semanal**

Ver archivo adjunto

**7.9 Apéndice I. Avances de obra semanal y acumulado**

Ver archivo adjunto

## **7.10 Apéndice J. Cronogramas y flujo de caja**

Ver archivo adjunto

## **7.11 Apéndice K. Registro fotográfico**

Ver archivo adjunto