



UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE OBRAS CIVILES Y CONSTRUCCIÓN

“IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES MINIMAS QUE DEBE CUMPLIR UNA
EMPRESA CONSTRUCTORA PARA SER CONSIDERADA “LEAN
CONSTRUCTION”.”

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CONSTRUCTOR

PROFESOR GUÍA

Héctor Hernández López

PROFESOR COLABORADORES

Eduardo Sepúlveda García-Huidobro.

Juan Ramón Soto Daniels

FRANCO DRAGOS ANDRÉS ÁLVAREZ GÓMEZ

27 de febrero de 2017

SANTIAGO – CHILE

AGRADECIMIENTOS

Índice

1	GENERALIDADES.....	7
1.1	Introducción.....	7
1.2	Motivación	8
1.3	Objetivo General.....	10
1.4	Objetivos Específicos	10
2.	Marco Teórico	11
2.1.	Lean Production	11
2.1.1.	Reseña Histórica	11
2.1.2	Principios básicos del sistema Toyota	13
2.1.3	Tipos de desperdicios.....	21
2.2	Lean Construction	24
2.2.1	Comparación entre Construcción Lean y Construcción Típica.....	29
2.2.2	Lean Project Delivery System	30
2.2.3	Flujo de trabajo	36
2.2.4	Last Planner System (LPS) o Sistema del Último Planificador.....	47
3	¿Cómo se aplican los principios de Koskela en una empresa Lean Construction?	59
3.1	Metodología.....	59
3.2	Tabla.....	60
3.3	Justificaciones	61
3.4	Tecnologías y herramientas Lean	79
3.4.1	Tecnologías.....	79
3.4.2	Herramientas.....	83
4	Recomendaciones	106
5	Conclusiones.....	107
6	Bibliografía.....	109
7	Referencia Digital	111

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Circulo de productividad de una empresa constructora.....	21
Ilustración 2: Producción como un proceso de flujo.	25
Ilustración 3: "Esquema modelo LPD".	31
Ilustración 4 Modelo general de Planificación del Proyecto usando LPS	50
Ilustración 5 Sistema de planificación Lean.	51
Ilustración 6: "Ejemplo de Diagrama de Ishikawa".	90
Ilustración 7: "Ejemplo de Carta de Flujo de Proceso".	96
Ilustración 8: "Visual Management" Zonas de trabajo	99
Ilustración 9: "Visual Managament" Seguridad	100
Ilustración 10: "Visual Management" Transparencia	101
Ilustración 11: "Ejemplo de VSM, actual".	103
Ilustración 12: "Ejemplo de VSM, futuro".....	104

Índice de Tablas

Tabla 1.- Funciones del Kanban en el proceso y sus lazos.....	18
Tabla 2.- Comparación de los enfoques típico y lean.....	30
Tabla 3 Comparación de la entrega de sistemas Lean y tradicional.....	35

RESUMEN

Este estudio se basó en el estudio del Estado del Arte de la metodología Lean Construction (O Construcción Limpia, en inglés) según lo descrito por la bibliografía relativa al tema y por las mismas empresas constructoras. Lean Construction es una metodología que permite la construcción sin pérdidas y constituye una herramienta de diseño, planificación, control y evaluación de los procesos de la obra y sus estándares de calidad.

Esta emergente metodología plantea que por medio de una buena planificación y posterior control de las distintas actividades que se realizan en la construcción de un proyecto se logra un ahorro importante y significativo en cuanto a los costos y un mejoramiento de los estándares de calidad del mismo.

El objetivo principal de este proyecto de título es la identificación de las condiciones que debe tener una empresa para ser catalogada como Lean Thinking.

El desarrollo de este proyecto de título consiste en una comparación entre los sistemas de gestión actuales y el sistema de gestión que propone la filosofía Lean Construction, dando como resultado las condiciones mínimas para que una Empresa de Construcción pueda ser considerada como Lean Construction, vale decir, que se pueda atribuir o conceder que la empresa que aplica efectivamente la metodología Lean y obtiene resultados positivos con ello.

ABSTRACT

This study was based on the study of the State of the Art of Lean Construction methodology as described in the literature on the subject and for the same construction companies. Lean Construction is a methodology that allows construction without losses and is a tool for design, planning, monitoring and evaluation of the work processes and quality standards.

This emerging methodology suggests that through good planning and subsequent monitoring of the various activities undertaken in the construction of a project, important and significant savings in terms of costs and improvement of quality standards of it is achieved.

The main objective of this project is the identification of the conditions that a business must have in order to be recognized as a Lean Thinking one.

The development of this degree project consists of a comparison between the current management system and a management system through the philosophy of Lean Construction, resulting in the recognition of the minimum conditions for a Construction Company to be considered as a Lean Construction one, that is, it can be attributed to the company or grant effectively implement Lean and gets positive results with it.

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

La baja productividad, los malos estándares de calidad, los problemas de inseguridad industrial y las pobres condiciones de trabajo, han sido durante años características comunes en la mayoría de los proyectos constructivos. Desde el año 1993, grupos como el Lean Construction Institute y el International Group for Lean Construction, conformados por académicos y profesionales del área de la Construcción han implementado en algunos países del mundo con cierto éxito un nuevo referencial teórico para la construcción denominado “Lean Construction”. Esta filosofía intenta minimizar o eliminar todas aquellas fuentes de pérdidas de los procesos productivos (tiempo de espera, procesos innecesarios, recursos en exceso, etc.). En “Lean Construction” las actividades de producción son concebidas como flujos de materiales e información hacia el producto final, los que son controlados con el objetivo de obtener una mínima variabilidad y tiempo de ciclo (Botero & Álvarez, 2013).

La necesidad de mejorar los procesos y entregar al cliente o mandante un producto final, en menor tiempo, a un costo y con un mayor estándar de calidad, explica la visión de los nuevos profesionales que han aceptado los conceptos de Lean Construction en su proceso productivo, implementándolo en una serie de proyectos con relativo éxito, no obstante, aún queda un tramo amplio por recorrer, sobretodo inculcar las nociones de esta nueva filosofía en los encargados de las diferentes etapas del proceso constructivo, los que a la vez deben transmitirlo a sus

subalternos, de manera tal que la estructuración del sistema no se vea afectado por ninguna de las fases (Peres, 2010).

La finalidad de este Proyecto de Título es dar a conocer las condiciones que una empresa constructora necesita para ser considerada como Lean Thinking, es decir, que utilice la metodología contemplada por el concepto mismo de Lean Construction. Esto significa entender la filosofía, las herramientas que utiliza, la cultura “lean” y las tecnologías que se puede emplear para ayudar a seguir en esta línea y que facilitan la gestión de una obra de edificación.

1.2 Motivación

Dentro de las diferentes áreas que presenta la Ingeniería en Construcción, existe una fuerte carencia en la formación educacional de habilidades que permitan integrar los conocimientos estructurales y de especialización con el frente administrativo de un profesional que busca desempeñarse en la administración de obras.

Además, la planificación se ha sustituido muchas veces por la improvisación en proyectos de edificación lo que genera mala comunicación, mala entrega de la información sobre los procesos que se realizan lo cual conlleva una errática toma de decisiones, menor productividad y mayores costos de edificación

En Japón, después de la Segunda Guerra Mundial, las compañías comenzaron a especializarse en sistemas de producción inspirados en la poca presencia de recursos y la casi nula generación de desperdicio a través de la correcta utilización de sus recursos, lo cual permitió desarrollar –entre otros- un sistema de gestión que

permitió el mejoramiento de la comunicación y la adopción de nuevas tecnologías que permitieron así lograr una mejor planificación, evitando la improvisación y poder conocer las falencias en cada uno de los procesos, minimizando además el número de procesos para obtener un mismo y mejor producto.

En la actualidad, existe información sobre lo que es el Lean Construction (white papers, Libro: “la máquina que cambió el mundo” (The machine that chaged the world), documentos de IGLC y de LC institute) pero no hay mucha sobre cómo implementarla o sobre lo que se necesita para ponerla en práctica en forma efectiva. Es por eso que la motivación de estudiar un sistema de Gestión poco utilizado que garantiza el éxito desde el momento de la gestación de la idea es imperativa para modernizar una industria chilena que no ha mostrado grandes cambios por décadas en su productividad.

La principal motivación para realizar este proyecto de título recae principalmente en que las empresas de construcción carecen de metodologías enfocadas en la industrialización, lo cual conlleva a una gran generación de “desperdicio” (todo gasto que no genera valor al producto), mala calidad de los productos y, poco avance en tecnologías aplicadas en el ámbito de la gestión, entre otros. Un empleo inteligente de Lean Construction significará, que a largo plazo, las empresas de construcción podrán contar con una construcción eficiente, con posibilidades de mejora continua, y disminución de los gastos, entre algunas de sus notorias y positivas consecuencias.

1.3 Objetivo General

Identificar las condiciones mínimas que debe cumplir una empresa constructora para ser considerada como “Lean Thinking”.

1.4 Objetivos Específicos

- Estudiar los fundamentos de Lean Construction.
- Establecer las condiciones o aspectos que considera la filosofía Lean en los proyectos de edificación
- Estudiar el ciclo de vida de los proyectos de edificación en Chile y su cadena de valor.
- Estudiar las metodologías actuales de gestión de proyectos de edificación.
- Estudiar los métodos o sistemas actuales que aportan a disminuir desechos y aportan valor a los proyectos de edificación.

2. Marco Teórico

2.1. Lean Production

2.1.1. Reseña Histórica

El 15 de agosto de 1945, cuando Japón perdió la Segunda Guerra Mundial, se marca el punto de partida del desarrollo de una metodología de producción nueva. El entonces presidente de la compañía automovilística Toyota, Toyoda Kiichiro (1894-1952), señalaba en esa época *“Debemos alcanzar a los Estados Unidos en tres años; de lo contrario, la industria japonesa automotriz no sobrevivirá”*. Esto implicaba aumentar la productividad en una razón 9:1, en solo tres años, lo que traía aparejado que el trabajo realizado por 100 hombres ahora debería ser realizado por 10. Surgía entonces una pregunta que iba más allá de los números y se basaba en la comparación de la industria japonesa con la norteamericana, ¿podía efectivamente un norteamericano realizar un esfuerzo físico 10 veces mayor al de un trabajador japonés? Del análisis de la situación se desprende, que los japoneses estaban teniendo pérdidas en su sistema productivo, y si pudieran identificar y eliminar esa pérdida, su productividad podría aumentar en 10. Esta es la idea que marcó el comienzo del sistema de producción Toyota.

Para el año 1950 funcionaba un nuevo y novedoso sistema de producción, el Sistema Toyota, el cual tenía como principios básicos: la eliminación de inventarios y pérdidas, limitación de la producción a pequeñas partes, reducir o simplificar su estructura de producción, utilización de máquinas semiautomáticas, cooperación entre los proveedores, etc. Este sistema sería desarrollado por ingenieros japoneses

como Monden 1983; Ohno 1988; Shingo 1984, con la colaboración de consultores americanos como Deming, Juran y Feigenbaum, mediante largos procesos de prueba y error, lo que explica en alguna medida que el mundo occidental no tuviera acceso inmediato a la nueva metodología y la información fuera muy limitada.

Sin embargo, en 1975 estas ideas serán ampliamente difundidas en Europa y Norteamérica, conformando a principios de los años 90s, la nueva filosofía de producción, conocida con diversos nombres como Fabricación de Clase Mundial, Producción Flexible, Lean Production, Sistema Toyota, etc.

Mientras mutaban las formas de producción, la Industria de la Construcción sólo cumplía un rol de observador de las nuevas corrientes de desarrollo, manteniendo las mismas políticas de producción. Fue solo en 1992 cuando Lauri Koskela organizaría los principios más avanzados de la administración moderna, junto con reformular los conceptos tradicionales de planificar y controlar obras, proponiendo una nueva filosofía de Control de producción en su tesis de Doctorado "Application of the New Production Philosophy to Construction", para luego patrocinar el primer congreso de lo que se conocería como International Group for Lean Construction en Finlandia, en agosto de 1993.

Actualmente el IGLC está conformado por investigadores de clase mundial, manteniendo la metodología de reunirse en congresos una vez al año, el que va rotando por Europa, Asia, Sudamérica, América del Norte, etc., y tiene por objetivo la investigación participativa y la promoción de un sistema de producción y administración en la construcción.

De manera conjunta se han ido generando organizaciones de carácter nacional, dentro de las cuales destacan: El Instituto de la Construcción Lean (www.leanconstruction.org), formado en 1997 en Estados Unidos conjuntamente con organizaciones similares que existen en Chile y Dinamarca, etc. Junto con organismos de desarrollo dentro de casa de educación superior como: el Centro de Excelencia en Gestión de Producción (GEPRO) de la Universidad Católica de Chile; Lean Construction, Universidad de Berkeley, California; Universidad de Río Grande, Brasil, etc. (Lopez Maturana, 2008)

2.1.2 Principios básicos del sistema Toyota

La principal idea del sistema Toyota es la eliminación de inventario y otros desperdicios a través de pequeñas producciones, reducir los tiempos de configuración, maquinaria semiautomática, cooperación con los proveedores y otras técnicas.

Su perfil es bastante claro: diseñar un sistema de producción que entregue un producto con las características que pidió el cliente, al instante y no teniendo inventarios intermedios (Gregory, 1999). Los conceptos incluyen:

- Identificar y entregar valor al valor del cliente: Eliminar todo lo que no agregue valor.
- Organizar la producción como un flujo continuo.
- Perfeccionar el producto y crear un flujo confiable mediante la detención de la línea de producción, demandar inventario y distribuir la información y la toma de decisiones.

En *Lean Thinking* de Womack y Jones, hacen alusión a cinco principios Lean que hablan desde el punto de vista del sistema de una empresa Lean cualquiera (no solo manufacturera), los cuales son:

- 1. Valor:** Específicamente, se habla del valor desde el punto de vista del cliente. Muy a menudo, las empresas tienden a ofrecer lo que les conviene a los clientes o lo que consideren económico para el cliente. En esta idea se habla de que el cliente compra una polera limpia y no una lavadora. (Bicheno & Holweg, 2009)

Se debe hacer la diferencia entre dos tipos de cliente. El externo, que se denomina como usuario o consumidor, y es quien define el valor de un producto o servicio y el cliente interno, que en un sistema Lean es todo aquel que dentro del flujo de valor recibe una entrada de material por parte de un proceso ubicado aguas arriba del flujo.

Para efectos de esta investigación, se considerará como cliente externo a la inmobiliaria y como cliente interno a la Inmobiliaria.

- 2. Flujo de valor:** Esta es la secuencia del proceso desde el material sin procesar hasta el cliente final o desde la concepción de la idea hasta el lanzamiento al mercado. Se debe dejar claro dónde empieza y dónde termina.

Las empresas Lean se focalizan en los flujos de valor porque es donde se genera el dinero y donde resulta más fácil identificar el desperdicio y desarrollar un plan de acción para eliminarlo.

3. Flujo: Se debe hacer fluir las operaciones creadoras de valor. Las actividades que realmente agregan valor y que el cliente lo pueda percibir, es la fracción mínima del total. Tener pensamiento Lean es también identificar y eliminar el mayor número posible de actividades que no agregan valor para mejorar la productividad y entregar más valor (Pons Achell, 2014).

4. Pull: El sistema de control “Pull” (tirar, en inglés) significa, en cortos términos, responder al porcentaje de demanda del cliente, y no sobre producir (Bicheno & Holweg, 2009). Es un sistema en que las actividades de aguas abajo dan la señal de sus necesidades a las actividades aguas arriba de la cadena de valor, mediante tarjetas Kanban, sobre que elemento o material necesitan.

El sistema *Pull* es fundamental en el *Just In Time* y se esfuerza por eliminar el exceso de inventario y la sobre producción.

Este sistema es lo opuesto a la producción tradicional, o “Push”, que se producía a gran escala y a máxima velocidad teniendo en cuenta una demanda prevista sin conocer las necesidades reales de los clientes.

5. Perfección: Se define como un proceso que proporciona valor puro, de la forma que fue definido por el cliente, sin desperdicios de ninguna clase, cuando el cliente lo pidió y a un precio justo.

Lean Production apunta a optimizar el rendimiento de los sistema de producción contra un estándar de perfección para alcanzar los requerimientos únicos del cliente

La manera de disminuir o eliminar los desperdicios y/o los tiempos de trabajo no productivo detectados, se aplicaron los siguientes métodos:

1. Just in Time:

El JIT o justo a tiempo –en español- es un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad que se necesita. Es un sistema de entrega en el cual se determinan los componentes de manera inversa, es decir, desde el producto final hacia los diferentes procesos y elementos necesarios para su fabricación. De esta forma, se conocen los elementos necesarios para la fabricación de ciertas partes, y el tiempo que debe ser entregado. Lograr esto supone tener inventario cero y, por ende, no tener desperdicio.

2. Jidoka:

Esta es una palabra japonesa que significa automatización. Con esto se aspira a tener procesos capaces de tomar decisiones inteligentes y parar y cerrarse automáticamente a la primera señal de condición anormal como un defecto u otro problema. Esto ayuda a parar los defectos, prevenir lesiones y limitar los daños en las máquinas, ya que es mejor parar una máquina al primer indicio de problema y no continuar la producción, lo que solo generaría desperdicios. El otro componente de Jidoka es la separación de hombre de la máquina, por lo que cuando la máquina posee la habilidad de parar en el evento de un problema, no hay necesidad de humanos vigilándola (Lean, 2013).

3. Kaizen (Bicheno & Holweg, 2009, pág. 192): Es la palabra japonesa para mejoramiento continuo. Es tanto una herramienta como una filosofía. Kaizen está dedicado al mejoramiento continuo, en pequeños incrementos, en todos

los niveles y para siempre. Todos tienen un papel, desde la alta dirección gerencial a los empleados del taller. De acuerdo a Imai hay varios principios generales, entre los cuales están:

- **Cuestionar las reglas:** Los estándares son necesarios, pero las reglas de trabajo están para romperlas y deben ser rotas con el tiempo.
- **Ingenio en Desarrollo:** Es prioridad gerencial el desarrollar el ingenio y la participación de todos.
- **Tratar de encontrar la causa raíz:** Tratar de no resolver los problemas superficialmente.
- **Eliminar toda la tarea:** Cuestionar si una tarea es necesaria.
- **Reducir o cambiar actividades:** Ser conscientes de oportunidades de combinar tareas.

4. **Kanban:** (Lopez Maturana, 2008, págs. 18-20)

La metodología generada por Ohno, que se hace cargo de lograr el JIT, y el jidoka, es el Kanban, método operativo del sistema de producción Toyota.

Su forma más usual es un papel dentro de un sobre de vinílico rectangular, el cual toma información del proceso anterior y posterior permitiendo señalar tres elementos importantes:

- **Recolección de información**
- **Transferencia de información**
- **Producción de información**

El Kanban sirve para mover información en el interior de la cadena de producción de la empresa de forma vertical y entre la empresa y las firmas subcontratistas.

Uno de los puntos cruciales para el correcto funcionamiento es la importancia que le asignen las personas, ya que se desea llegar a obtener una hoja de trabajo estándar que pueda comprender el resto de los trabajadores.

Al interior del sistema de producción Toyota, el Kanban cumple la función de evitar completamente la sobreproducción. Como consecuencia, no es necesario un inventario excesivo, lo que trae consigo un ahorro de bodega y de personal que la administre.

En la tabla 1, se detallan las funciones del Kanban en el proceso.

Tabla 1.- Funciones del Kanban en el proceso y sus lazos

<i>Funciones del Kanban</i>	<i>Normas para su uso</i>
Proporciona información de retiro o de transferencia.	El proceso posterior recoge en el proceso anterior el número de ítems que indica el Kanban.
Proporciona información de producción	El proceso anterior produce la cantidad de ítems y en la secuencia que indica el Kanban
Evita la sobreproducción y transporte excesivo	No se producen ni se transporta ningún ítem sin un Kanban
Sirve de orden de trabajo y adjunta los bienes.	Adjuntar siempre el Kanban a los bienes.
Evita las piezas defectuosas al identificar el proceso que produce los errores.	Los productos defectuosos no se envían al proceso subsiguiente y como resultado el proceso es 100% sin defectos.
Revela los problemas existentes y mantiene un control de inventario.	Reduciendo el número de Kanban incrementa su eficiencia.

Fuente: “Evolución del sistema de producción Toyota”, Cap II.

Si bien esta es una herramienta que permite generar resultados extraordinarios; si se llega a utilizar en forma incorrecta, la herramienta puede provocar un conflicto aun peor que lo que trata de resolver.

El Kanban tiene como propósito lograr el “justo a tiempo”, es decir, contar con lo justo en el momento preciso, es el nervio autónomo de la línea de producción. En base a éste, los operarios de producción comienzan el trabajo por sí mismos y toman sus propias decisiones en lo que respecta a las horas extraordinarias. También señala claramente qué deben hacer los administradores y supervisores, todo lo cual indudablemente promueve una mejora tanto en el trabajo como en los equipos. Esto es el núcleo del principio de las responsabilidades compartidas, en las cuales cada trabajador deja de ser el motor de acción de una orden superior, transformándose en un activo participante en la toma de decisiones y generando un compromiso distinto con su trabajo.

5. PDCA:

El ciclo de Deming o PDCA – siglas de Plan-Do-Check-Act o Planificar-Hacer-Verificar-Actuar- es un ciclo de mejora continua basado en el método científico de proponer un cambio de mejora en el proceso, implementar el cambio, medir, y controlar los resultados (disminución de fallos, aumento de la eficacia y eficiencia, solución de problemas, previsión y eliminación de riesgos potenciales...) (Bicheno & Holweg, 2009, pág. 182).

- **Plan:** No es solo planificar que hacer, sino que es sobre comunicación, la determinación del alcance, discusión, consenso de ganancia y despliegue. Además, es también buscar los requerimientos del cliente. Se debe considerar cuales son los objetivos y como alcanzarlos y las restricciones que podría tener el proyecto.
- **Do:** Se trata de llevar a cabo la mejora en una fase de prueba, para llevarla a gran escala posteriormente. Pero para “hacer bien”, requiere de la implementación de habilidades interpersonales.
- **Check:** La etapa de aprendizaje. Esta fase es para ver si la mejora existe o no. En caso de que no exista, se debe investigar por qué no funcionó, cuáles son sus causas raíces y que se aprendió para una próxima oportunidad.
- **Act:** Una vez finalizado el periodo de prueba, se debe comparar los resultados de la mejora con los resultados sin la mejora. Si funcionó bien, hay que estandarizar las etapas importantes. Sin este paso, todos los pasos previos serán desperdiciados. Una desviación de los procedimientos estándares indica que algo está mal. Se puede considerar si la nueva manera se puede incorporar en otra parte. Finalmente, se debe volver al primer paso para revisar periódicamente para ver si se puede volver a mejorar.

2.1.3 Tipos de desperdicios

El desperdicio tiene variadas definiciones, pero tal vez la mejor definición es la planteada por Álvarez y Botero: Se consideran como desperdicio aquellas actividades que no agregan valor, pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción (Botero & Álvarez, 2013).

Ohno descubrió que en una empresa u organización la mayor parte de las actividades que realizamos no añaden valor neto al producto o servicio final que entregamos al cliente y por lo tanto son susceptibles de mejorar o eliminar. (Pons Achell, 2014, pág. 19)

PROMEDIOS GENERALES DE CATEGORIAS DEL TRABAJO EN OBRAS

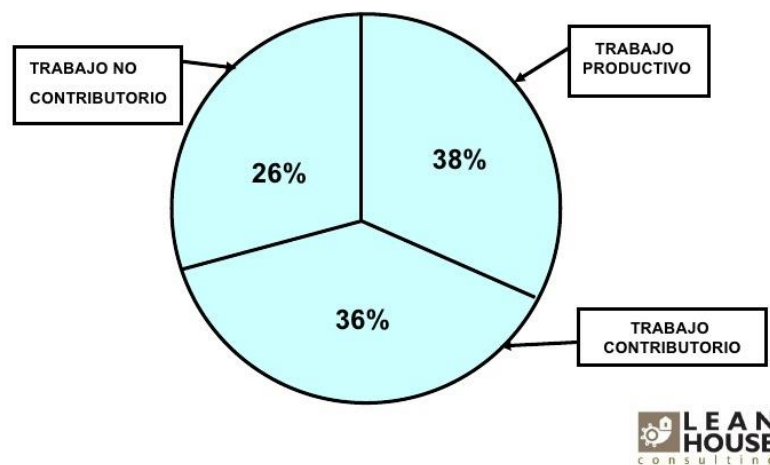


Ilustración 1: Circulo de productividad de una empresa constructora.

Fuente: "LeanHouse consulting".

Ohno encontró siete desperdicios en la manufactura, que también se pueden aplicar a muchos tipos de servicio. Los desperdicios son los siguientes:

1. El desperdicio de la sobreproducción:

Ohno creía que el desperdicio por la sobreproducción era la más seria de todas porque era la raíz de muchos problemas y otros desperdicios. El apunte debería ser a hacer exactamente lo que se requiere, ni más ni menos, justo a tiempo y en perfecta calidad. Esto es considerado desperdicio porque se estimó mal la cantidad de recursos necesarios, se considera un gasto de almacenamiento y de inventario

2. El desperdicio de tiempo de espera:

Es, probablemente, el segundo desperdicio más importante. Está directamente relacionado con el flujo. Un operador que está esperando para su trabajo es una pérdida de producción, debido a que no está haciendo nada y no contribuye.

3. El desperdicio de movimiento innecesario:

Se refiere a los movimientos innecesarios o ineficientes realizados por los trabajadores en el trabajo. Esto se debe a la utilización de material inadecuado, métodos de trabajo ineficientes, pérdidas de tiempo y bajas laborales.

4. El desperdicio de transporte:

El transporte de material dentro de la fábrica es un desperdicio, puesto que no genera valor. Además, el mover mucho el material, aumenta las probabilidades de que el material se dañe.

5. El desperdicio de procesos inapropiado:

Proceso inapropiado significa usar un martillo para romper una nuez. O una gran maquina en vez de muchas pequeñas. Procesos inapropiados se refieren también a máquinas y procesos que no tienen la calidad suficiente. Un proceso incapaz no puede ayudar, pero crea defectos. En general, un proceso competente requiere tener los métodos correctos y entrenamiento, también como tener los requerimientos estándares claramente conocidos.

6. El desperdicio de inventario innecesario:

A pesar de que no tener inventario es la meta que nunca puede ser alcanzada, el inventario es el enemigo de la calidad y productividad. Esto porque tiende a aumentar los tiempos de espera, previene la rápida identificación de problemas, y aumenta el espacio de comunicaciones desalentadoras. Además, el verdadero costo de extra inventario es la gran cantidad de dinero en exceso invertido en ella.

7. El desperdicio por defectos de producción:

Los defectos cuestan dinero, a mediano y largo plazo. Las categorías de fallas o defectos son internas (chatarra, re trabajo, retrasos) y externas (incluyen la garantía, reparos, servicio técnico). Teniendo en cuenta que los costos por falla tienden a aumentar a medida de que no son detectados y siguen avanzando en la cadena de producción.

2.2 Lean Construction

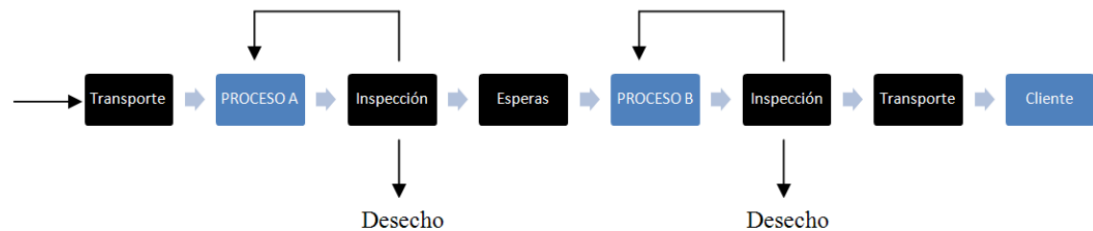
Según el Lean Construction Institute (ILC), Lean construction es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen.

Lauri Koskela, en su tesis de Doctorado, define a “La Nueva Filosofía de Producción” así: *“La producción es un flujo de materia y/o información desde un material crudo al final de producto. En este flujo, el material es procesado (transformado), es inspeccionado, está esperando o se está moviendo. Estas actividades son inherentemente diferentes. El procesamiento representa el aspecto de conversión de la producción; la inspección, el movimiento y la espera representan el aspecto del flujo de la producción.*

Los procesos de flujo pueden ser caracterizados mediante el tiempo, costo y valor. Valor se refiere al cumplimiento de los requerimientos del cliente. En la mayoría de los casos, solo las actividades de procesamiento son actividades que agregan valor. De los flujos materiales, las actividades de procesamiento son alteraciones de forma o sustancia, de montaje y desmontaje” (Koskela, Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción, 1992, pág. 15).

Ilustración 2: Producción como un proceso de flujo.

Los cuadros oscuros representan las actividades que no agregan valor, en comparación con las actividades de procesamiento que agregan valor.



Fuente: “Aplicación de una nueva filosofía de producción a la construcción”. Lauri Koskela, 1992.

En esencia, la nueva conceptualización implica una visión dual de producción: Esta consiste en transformaciones y flujo (Koskela, Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción, 1992, pág. 15).

Mientras todas las actividades gastan costo y consumen tiempo, solo las actividades de transformación agregan valor al material o a las partes de información siendo transformadas a un producto. Así, la mejora de las actividades de flujo debería estar, ante todo, concentrada en su reducción o eliminación, mientras las actividades de transformación tienen que ser más eficientes (Koskela, Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción, 1992, pág. 16).

La entrega tradicional de sistemas de proyectos busca la “partida” de la entrega del proyecto y omite la maximización del valor y la minimización del desperdicio. Un LPDS –que se explicara más adelante- es un sistema de entrega de proyectos que

está estructurado, controlado y mejorado en la búsqueda de las metas de transformación/flujo/valor propuestos por Koskela.

Para lograr una correcta implementación de Lean Construction, es necesario iniciar un compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción y para funcione, se deben aplicar los once principios que Lauri Koskela propuso (Koskela, Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción, 1992, pág. 16):

- 1. Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor:** Solo entre el 3% y el 20% de los pasos de un proceso agregan valor, el principal problema es organizacional, dado que los diferentes actores que participan en el proceso realizan su trabajo si un contacto conjunto con las otras partes involucrada, por lo tanto aumentan las actividades que no agregan valor como son la inspección, el transporte y las esperas.
- 2. Incremento del valor del producto:** Es de suma importancia considerar los requerimientos que manifiesta el cliente, en la medida que esto se cumple, el cliente recibirá un producto de mejor calidad.
- 3. Reducción de la variabilidad de los procesos:** Las principales razones para disminuir la variabilidad del proceso son que el cliente de preferencia opta por un producto uniforme y que la variabilidad aumenta las actividades que no agregan valor. La forma de reducir la variabilidad es mediante el uso de sistemas de control estadístico que busquen las causas de raíz para eliminarlas.

- 4. Reducción del tiempo de ciclo:** Lo que se busca es disminuir el tiempo de ciclo, reduciendo el tiempo de inspección, el tiempo de transporte y el tiempo de espera, en el tiempo total de ciclo descrito en la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de Ciclo} = \text{Tiempo Procesamiento} + \text{Tiempo Inspección} + \text{Tiempo Espera} + \text{Tiempo Transporte}$$

- 5. Simplificación de proceso mediante la minimización de los pasos, las partes y los vínculos:** La simplificación se puede entender como la reducción del número de pasos en un flujo físico, se puede alcanzar eliminando las actividades que no agregan valor del proceso o reconfigurando los pasos que agregan valor.
- 6. Incremento de la flexibilidad de la producción:** El fin que se busca es adaptar la producción a los cambios constantes que tiene la demanda, los que pueden ocurrir durante la ejecución del proyecto, por lo que se requiere que el sistema sea lo más flexible posible para adaptarse.
- 7. Transparencia del proceso:** La carencia de transparencia oculta los errores y no permite plantear soluciones, si por el contrario, la actividad se transparenta, se facilita el control y el mejoramiento, los procesos deben ser observables directamente y la información publicada periódicamente.
- 8. Enfocar el control de los procesos al proceso completo:** Existen al menos dos requisitos para que el control se centre en el proceso completo:
- a) La medición debe ser hecha sobre el proceso completo, b) debe existir una autoridad para el control del proceso completo.
- 9. Mejoramiento continuo del proceso:** La responsabilidad de mejoramiento debe entregarse a todos los trabajadores, mediante la formación de grupos

de trabajo que permita constituir una estructura paralela a la forma. Se sugiere usar objetivos limitados como la eliminación de inventarios o la reducción de tiempo de ciclo.

10. Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión:

Mejorar la eficiencia de los procesos de conversión, debe ir siempre ligado a mejoras en los flujos, el punto central es comprender que los flujos y las conversiones están relacionados.

11. Referenciación (Benchmarking): Se define como benchmarking como el proceso mediante el cual se recopila información y se obtienen nuevas ideas, mediante la comparación de aspectos de una empresa con los líderes o los competidores más fuertes del mercado. La secuencia de un proceso benchmarking es: 1) Selección del problema a estudiar, 2) Creación de un equipo de trabajo, 3) Elección de la empresa con la que ha de compararse, 4) Recoger y analizar información, 5) Acción de mejoramiento en la empresa.

2.2.1 Comparación entre Construcción Lean y Construcción Típica

La producción típica o convencional se sustenta en la observación de la producción como una conversión de las entradas hacia las salidas, por lo tanto la producción total se puede subdividir en procesos, los cuales de igual manera son procesos de transformación. La producción típica se ve mejorada por la implementación de nuevas tecnologías sobretodo en las actividades que agregan valor al producto final y en cierta forma, también a las actividades que no lo agregan. No obstante, el costo y el tiempo de las actividades que no agregan valor presentan una tendencia creciente debido a la contribución de varios mecanismos. (Peres, 2010, pág. 38)

- Mientras se ejerce mayor control sobre el costo de cada actividad, es menor el control del impacto que estas actividades tienen 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 como son el transporte, las esperas e 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.

En la tabla N° 2 se comparan ambos enfoques de construcción, el enfoque típico y el enfoque lean.

Tabla 2.- Comparación de los enfoques típico y lean

	Construcción Típica	Construcción Lean
Objetivo	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Actividades de Control	Gestión, asesoramiento y control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Depto. 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 en 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.
Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y el valor de flujos
Mejoramiento	Implementación de nueva tecnología	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnológicas.

2.2.2 Lean Project Delivery System

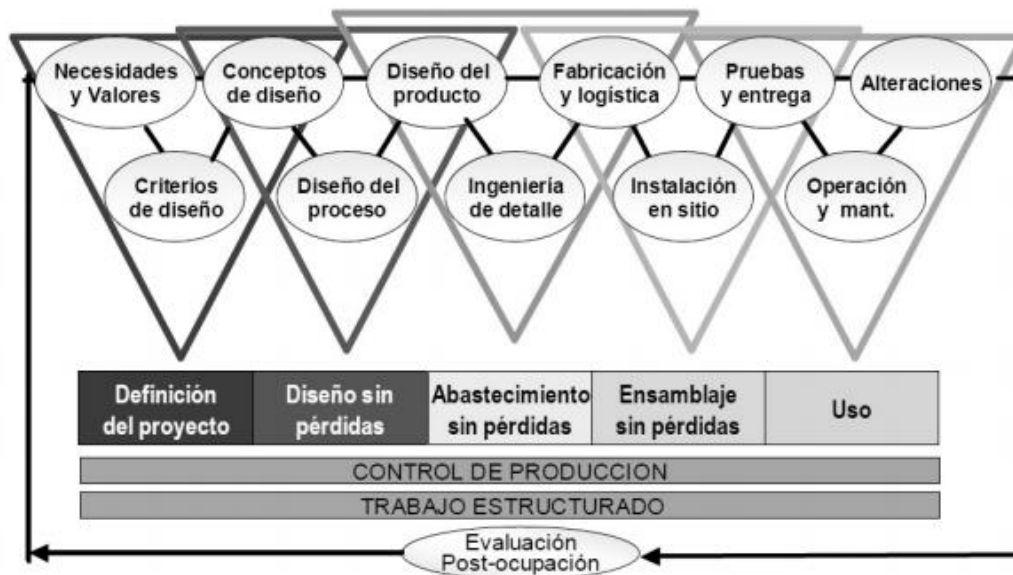
Una de las diferencias clave entre las entregas de proyectos tradicional y lean es la relación entre las fases y los participantes en cada fase. (Koskela, Fundamentos de Lean Construction)

LPDS se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de este. (Pons Achell, 2014)

El modelo LPDS se describe como un conjunto de cinco fases (definición, diseño, suministro, ensamblaje y uso) y once etapas de desarrollo práctico que son controladas por un módulo de aprendizaje continuo para ir aprendiendo de los errores cometidos en cada etapa de aplicación de LPDS al proyecto. (Peres, 2010)

El control de la producción, la estructuración del trabajo y el aprendizaje es algo que ocurre continuamente a lo largo de todo el proyecto y cada fase contiene actividades e hitos que deben cumplirse a medida que este avanza. El propietario o cliente determina el coste permitido del proyecto y la misión del equipo es entender y ofrecer el mejor valor para el cliente y eliminar todas las actividades que no añaden valor.

Ilustración 3: "Esquema modelo LPD".



Fuente: Ballard H.D (2000) "Lean Project Delivery System" LCI

2.2.2.1 Las diferentes fases de un proyecto Lean según el LPDS

a) Fase de definición del proyecto:

Es la primera fase del modelo, está conformada por tres etapas, a saber: las necesidades y valores, los criterios de diseño y los conceptos de diseño. Se implementan antes de comenzar el trabajo de diseño como tal. La primera etapa comprende el análisis y estudio de las necesidades de los clientes finales, es decir lo que desea el cliente; la siguiente etapa engloba los criterios de diseño, o sea, las pautas que deben seguirse para la concepción del proyecto, por ejemplo las normas técnicas de construcción. Finalmente, en la última etapa, empiezan a surgir las primeras ideas, que plasmadas en esquemas o anteproyectos dan forma al diseño conceptual. Las etapas de la primera fase deben ser dinámicas e interactivas para lograr que los diferentes intereses de los involucrados tengan un alto grado de convergencia y así pasar a la etapa de diseño.

b) Diseño “Lean”:

Es la segunda fase en la gestión de proyectos “Lean” y al igual que en la primera fase tiene tres etapas que interactúan entre sí, el diseño de procesos, el diseño de productos y los conceptos de diseño, etapa común a ambas fases. En esta fase se desarrolla el diseño conceptual del producto que se planteó durante la definición del proyecto con el fin de obtener el diseño definitivo y, al mismo tiempo, establecer el proceso constructivo que se plantea en la etapa de diseño, todo esto verificando las necesidades del cliente y optimizando al máximo los recursos. En el control de la producción

del diseño “Lean” se usa la herramienta del Sistema del Último Planificador, también herramientas informáticas como el diseño 3D para comprender mejor los diseños de los elementos que conforman el proyecto. En el paso de la fase de diseño “Lean” a la siguiente, cuando el diseño y el proceso constructivo se han desarrollado teniendo como base los conceptos previamente definidos, conceptos que expresan las necesidades del cliente y de las partes involucradas, el diseño deberá ser evaluado explícitamente por el equipo de diseño/construcción y el cliente antes del cambio al suministro “Lean” o suministro sin pérdidas.

c) Suministro “Lean”:

La fase de suministro “Lean” comprende las etapas de fabricación y logística, diseño de producto e ingeniería de detalle. La fase en sí consiste principalmente en la ingeniería de detalle del diseño de lo producido en la etapa previa (diseño “Lean”), seguido de la fabricación o compra de componentes y materiales, así como de la logística de gestión de entregas e inventarios.

En los proyectos de construcción es común que se necesiten profesionales que se aseguren de que el abastecimiento de los materiales esté disponible para un flujo de trabajo óptimo, para evitar la escasez de materiales en el lugar donde se necesitan. Las consecuencias directas de la falta de abastecimiento de los materiales traen como consecuencia atrasos en el proceso constructivo de los proyectos.

El abastecimiento “Lean” aborda el problema de falta de abastecimiento a través de tres enfoques principales: 1) Mejorar el flujo de trabajo de fiabilidad, mantenimiento, identificación, restricción y remoción. 2) El uso de software de gestión de proyectos basado en la web para aumentar la transparencia a través de las cadenas de valor. 3) La vinculación de flujo de trabajo de producción con suministro de material.

d) Ensamblaje “Lean”

Esta fase está conformada por los módulos fabricación, logística, instalación y puesta en servicio. Como se ha expuesto, la filosofía “Lean” no es un método o unos pasos a seguir, sino una manera de pensar para optimizar la producción de los proyectos constructivos. En el caso del montaje de los materiales en obra se ha optado por la prefabricación, que permite operar de una manera “Lean” mediante la reducción de muchos pasos, teniendo en cuenta que los trabajos en obra se ven afectados por condiciones de incertidumbre, como las variaciones del clima y las limitaciones de mano de obra especializada, materiales y equipos. Con un taller de fabricación se crea un ambiente controlado y predecible. El nuevo enfoque de la prefabricación permite que los obreros mejoren los tiempos de trabajo tan solo con la instalación de los diferentes equipos, por ejemplo, en la plomería para cuartos de baño de los proyectos edificatorios se usan tuberías prefabricadas que se instalan en cuestión de minutos, cumpliendo las especificaciones técnicas y los estándares de calidad. El montaje o ensamblaje “Lean” se usa en los actuales proyectos de construcción,

poniendo los materiales, sistemas y componentes en su lugar para crear una instalación mejor y completa en menos tiempo.

En resumen, se presenta una tabla con la comparación de un LPDS con un sistema más tradicional muestra que el nuevo enfoque es un cambio radical de la practica actual. (Porras, Sanchez, & Galvis, 2014)

Lean	Tradicional
Se centra en el sistema de producción.	Se centra en las transacciones y contratos.
Metas de Transformación-Flujo-Valor.	Metas de Transformación.
Los participantes del proceso anterior se involucran en el proceso siguiente.	Las decisiones son hechas secuencialmente por especialistas.
Todo el ciclo de vida de las etapas del proyecto son considerados en el diseño.	No todo el ciclo de vida de las etapas del proyecto son considerados en el diseño
Las actividades son desarrolladas en el último momento responsable.	Las actividades son desarrolladas lo más pronto posible.
Se hacen esfuerzos sistemáticos para reducir los tiempos de entrega de la cadena de suministros.	Organizaciones separadas se unen entre sí a través del mercado, y toman lo que el mercado ofrece.
El aprendizaje es incorporado al proyecto, la empresa y la gestión de la cadena de suministro.	El aprendizaje ocurre esporádicamente.
Los intereses de los stakeholders están alineados.	Los intereses de los stakeholders no están alineados.
Los pequeños inventarios son medidos y localizados para desarrollar su función de absorber la variabilidad del sistema.	Los participantes reúnen grandes inventarios para proteger sus propios intereses.

Tabla 3 Comparación de la entrega de sistemas Lean y tradicional.

Fuente: “Los fundamentos del Lean Construction”, Howell, Koskela, Ballard, Tommelein

2.2.3 Flujo de trabajo

Existen dos procesos principales en un proyecto de construcción:

- Proceso de Diseño: Es un refinamiento paso a paso de las especificaciones donde necesidades y deseos vagos son transformados en requerimientos, y luego por medio de un número variante de pasos, a diseños detallados. Simultáneamente, esto es un proceso de detección y solución de problemas.
- Proceso de Construcción: Está compuesto por dos tipos diferentes de flujo:
 - Proceso de material consistente en los flujos de material al sitio, incluyendo procesamiento y ensamblaje en sitio.
 - Los procesos de trabajo de los equipos de construcción. El flujo temporal y espacial de los equipos de construcción en sitio están asociados cercanamente con los procesos materiales.

Los procesos pueden ser caracterizados mediante su costo, duración y el valor para el cliente. El valor consiste de dos componentes: el rendimiento del producto y libre de defectos.

El costo de diseño está compuesto de los costos de actividades que agregan valor y desperdicio y a su vez, el desperdicio en el proceso de diseño está formado por:

- Re trabajos.
- Actividades que no agregan valor en la información y flujos de trabajo.

El proceso de diseño tiene dos clientes: el proceso constructivo y el cliente. El valor del cliente está determinado por:

- Que tan bien los requerimientos implícitos y explícitos fueron convertidos en una solución de diseño.
- El nivel de optimización alcanzado.
- El impacto de los errores de diseño que fueron descubiertos durante el uso.

El valor del diseño para el proceso constructivo está determinado por:

- El grado en que los requerimientos y restricciones del proceso constructivo han sido tomados en cuenta.
- El impacto de los errores de diseño que han sido detectados durante la construcción.

El desperdicio inherente en la construcción es creado por:

- Re trabajo debido a errores de diseño o constructivos.
- Actividades que no agregan valor en lo material y flujo de trabajo, tales como esperas, movimiento, inspección, actividades duplicadas y accidentes.

El proceso constructivo tiene como su cliente al cliente. El valor de la construcción está determinado por:

- El porcentaje libre de defectos descubiertos durante el uso.

El foco principal en el diseño es minimizar la pérdida de valor, mientras que en la construcción es en minimizar el desperdicio.

En los proyectos “únicos” de construcción, es necesario realizar dos tipos de análisis:

- El tiempo del proyecto: La meta es de alcanzar los niveles de costo y valor con las mejores prácticas existentes.
- A largo plazo: Las organizaciones en construcción tienen que mejorar los procesos continuamente, con el fin de satisfacer y superar sus prácticas. Incluso las mejores prácticas tienen un amplio potencial de mejora. (Koskela, Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción, 1992, págs. 38-50)

2.2.3.1 Mediciones para la construcción

Las mediciones convencionales de construcción, las cuales se concentran en el costo o la productividad, fallan al hacer visible el desperdicio y para estimular la mejora continua.

Los datos de medición son necesarios por dos propósitos: impulsar la mejora en la organización y para enfocarse en la comparación a través de proyectos y organizaciones.

Koskela, en su tesis de doctorado, entrega cuales deberían ser las nuevas mediciones relacionadas a la construcción, las cuales son:

- Desperdicio: Numero de defectos, re trabajo, numero de errores de diseño y omisiones, números de ordenes cambiadas, costos de seguridad, consumo excesivo de materiales y porcentaje de tiempo que no agrega valor del ciclo de tiempo de un trabajo en particular.
- Valor: El valor de una salida de un cliente interno o externo a menudo tiende a ser evaluado subjetivamente.

- Ciclo de Tiempo: El ciclo de tiempo de los procesos principales y subprocesos son mediciones poderosas.
- Variabilidad: Cualquier desviación de los objetivos puede abordarse, como en el desarrollo del programa.

Existen tres problemas especiales encontrados en el desarrollo de mediciones para la construcción:

- Singularidad de los proyectos, relacionados a la falta de repetición, lo cual puede hacer difícil la comparación entre proyectos u organizaciones.
- Dificultad de recolección de datos.
- Variaciones de definiciones y procedimientos para la recolección de datos.

Cuando las mediciones son usadas internamente, estos problemas pueden ser sobrellevados.

A pesar de todas las dificultades de encontrar datos adecuados, una medición importante para la comparación y la focalización es seguramente el nivel de clase mundial, es decir, el valor absoluto de logro de las mejores compañías del mundo.

2.2.3.2 Problemas de flujo causados por peculiaridades de la construcción

Por estas peculiaridades, la industria de la construcción es vista a menudo como una clase propia, diferente a la manufacturera. Estas peculiaridades son amenudo presentadas como razones (o excusas) cuando procedimientos bien establecidos y útiles de la manufactura no son implementados en la construcción.

Las peculiaridades son:

- Singularidad de los proyectos.
- Producción en sitio
- Multiorganizacion temporal.
- Intervenciones regulatorios.

Estas peculiaridades pueden impedir la consecución de los flujos tan eficientes como los de fabricación estacionaria. Sin embargo, los principios generales para el diseño de flujo y mejora aplicada a los flujos de construcción a pesar de estas peculiaridades pueden mejorar los flujos de la construcción. Pero el problema central es entender estas singularidades y ser capaz de evitar o aliviar sus efectos perjudiciales.

A. Singularidad de los proyectos:

Características: La naturaleza singular de cada construcción o instalación es causada por diferentes necesidades y prioridades del cliente, por diferentes sitios y entornos y por diferentes vistas de diseño para la mejor solución. Los

materiales, componentes y habilidades necesarias son usualmente iguales o similares.

Usualmente hay entradas significativas dentro del proceso de diseño para el cliente, quien a veces es participante de una sola vez en el proceso y así no tiene el beneficio de aprender desde los ciclos importantes del proyecto.

Problemas del proceso de control y mejora: No hay ciclos completos de feedback porque el producto es carísimo.

El problema general en la producción de construcciones únicas es que la configuración de flujos tiene que ser diseñados específicamente. Hay actividades en el flujo que son difíciles de controlar por su innovación. En tareas únicas, averiguar las metas respectivas y las restricciones es propenso a errores y consumen tiempo; los beneficios de aprendizaje y mejora continua no están a la mano. Además la coordinación de los proyectos se ve obstaculizado por duraciones inciertas y características desconocidas de actividades únicas.

En resumen, los siguientes principios del diseño de flujo y mejora son difíciles de realizar: reducción de variabilidad, mejora continua, mejora de transparencia, comprensión del ciclo de tiempo.

Soluciones: Lo primero y más básico es eliminar aquellas soluciones únicas en un proyecto que no son necesarias. De esta forma, los flujos de trabajo probados y sus componentes asociados, habilidades, etc. Pueden ser usados. Los sistemas de construcción industrializadas abiertas o cerradas proveen de soluciones a considerar.

La falta de repetición y ciclos de feedback pueden ser remediados creando feedback ficticios: Simulaciones en sus varias formas, modelos físicos o aprendizajes de proyectos anteriores.

Con respecto a las actividades en sitio, los problemas de tareas únicas pueden ser remediados con alta calidad de documentos y con instrucciones claras.

En general, los problemas de naturaleza singular están compuestos por los dos siguientes problemas: producción en sitio y organización temporal.

B. Producción en sitio

Características: La producción en la construcción es típicamente llevada a cabo en el lugar final del producto construido, a menudo dentro del producto en evolución.

Problemas en el proceso de control y mejora:

- Problemas de variabilidad: Hay usualmente poca protección contra elementos operativos propensos a interrupciones. Dispositivos de seguridad permanentes no pueden ser usados en un ambiente cambiante. El material y la mano de obra local a veces tiene que ser usado, agregando potencialmente incertidumbre.
- Problemas de complejidad: El flujo espacial de las estaciones de trabajo tiene que ser coordinada.

- Problema de transparencia: El ambiente laboral está continuamente cambiando, haciendo la planificación de diseño más compleja. Debido al ambiente cambiante, los controles visuales son difíciles de implementar.
- Problemas de benchmarking: La producción en sitio es por naturaleza descentralizada de la producción, con problemas asociados a la transferencia de mejora.

Soluciones: La solución más básica para alivianar los problemas en sitio es configurar un flujo de material, así un número mínimo de actividades es realizada en sitio. La razón fundamental de la pre fabricación, modularización y pre ensamblaje es parcialmente basado en este principio.

En la práctica, las operaciones in situ son pobremente sistematizados; solo unas pocas compañías tiene métodos estándares para varias operaciones in situ. Sin embargo, solo a través de métodos estándares pueden reducir la variabilidad y la rápida difusión de mejoras puede ser asegurada.

La técnica JIT general de pequeños lotes puede ser beneficioso para reducir la variabilidad e inducir la mejora en sitio. Es más, hay muchos métodos de planeación de trabajo en Japón los cuales apuntan a eso.

C. Multiorganizaciones temporales

Características: Una organización en un proyecto de construcción es usualmente una organización temporal diseñada y ensamblada con el propósito de un proyecto en particular. Está compuesto por diferentes compañías y prácticas, las cuales no necesariamente han trabajado antes juntas y las cuales

están unidas al proyecto por diversos arreglos contractuales. Esta naturaleza temporal se extiende por toda la fuerza laboral, la cual puede ser empleada para un proyecto en particular en vez de que sea permanente.

Problemas del proceso de control y mejora: los problemas están relacionados con el principio de mejora continua, variabilidad y procesos completos como el control. En la práctica, los problemas son los siguientes:

- Comunicar los datos, conocimiento y soluciones de diseño a través de los límites de la organización.
- Mejora estimulativa y acumulativa en procesos.
- Lograr metas congruentes a través de la organización del proyecto.
- Mejora estimulativa y acumulativa dentro de una organización con una fuerza laboral pasajera.

Soluciones: Las bases del problema de comunicar datos, conocimiento y soluciones de diseño sobre los límites organizacionales pueden ser dirigidos por:

- La adquisición de una red de organizaciones de cooperación a largo plazo.
- Construcción de un equipo de trabajo durante el proyecto.
- Definición clara de los roles de cada participante.

La mejora a través de los límites organizacionales convencionales pueden ser estimulados por relaciones a largo plazo o relaciones entre:

- Contratista y subcontratista.

- Dueño y empresa de ingeniería.
- Empresa de ingeniería y vendedor.

D. Intervención de autoridades regulatorias:

Características: Las soluciones de diseño y muchas fases de trabajo en un proyecto de construcción son subjetivas a revisiones y aprobaciones de autoridades reguladoras.

Problemas del proceso de control y mejora: La intervención de autoridades causa incertidumbre y restricciones al proceso. Obtener la aprobación para una solución de diseño es a menudo impredecible. La revisión de las autoridades durante el proceso de construcción puede causar retrasos.

Soluciones: Las actividades de inspección deberían ser incluidas como parte del flujo del proceso productivo, sujeto a la mejora mediante la aplicación de los once principios. El proceso de aprobación puede ser usualmente simplificado y acelerado. La autoridad fiscalizadora puede ser sustituida con una auto revisión por la empresa ejecutora.

Los problemas asociados con las peculiaridades de la construcción son bien conocidos en la práctica, y varias contramedidas han sido desarrolladas e implementadas, como se resume en la tabla N°4.

Tabla 4 Resumen de los problemas relacionado a las peculiaridades de la construcción y sus soluciones correspondientes

Peculiaridad	Problemas del proceso de control	Problemas del proceso de mejora	Soluciones estructurales	Soluciones operacionales para el control	Soluciones operacionales para mejora
Único en su tipo	No hay prototipo de ciclos. Cliente de entrada no sistemático. Coordinación de actividades inciertas.	Procesos únicos en su tipo no son repetibles, y por ende se cuestiona la mejora a largo plazo	Minimizar el contenido único en su tipo en el proyecto.	Análisis adelantado de los requerimientos. Fijar ciclos ficticios. Pequeños inventarios para partidas inciertas.	Mejorar la flexibilidad de los productos y servicios para cubrir una variedad más amplia de necesidades. Acumular información "feedback" de proyectos anteriores.
Producción in situ	Incertezas externas (clima). Incertezas internas y complejas (flujo, interdependencias, variabilidad de la producción del trabajo manual).	Dificultad de transferir mejora a través de sitios exclusivos para procedimientos y habilidades	Minimizar las actividades en sitio en cualquier flujo de material	Utilización de recintos para eliminar incertezas externas. Planeación detallada y continua. Equipos de trabajo multi-laboral	Mejorar la planeación y capacidad de análisis de riesgo.
Organización temporal	Incertezas internas (intercambio de información a través de las fronteras de la organización)	Dificultad de simulación y acumulación de mejora a través de las fronteras de la organización	Minimizar las interfaces de organización temporal	Crear equipos de trabajo durante el proyecto	Integrar los flujos a través de las asociaciones
Intervención regulatoria	Incertidumbre externa (retrasos aprobados)			Comprensión de la aprobación del ciclo de auto inspección.	

Fuente: Aplicaciones de la nueva filosofía de producción para la construcción, Koskela1992.

2.2.4 Last Planner System (LPS) o Sistema del Último Planificador.

El Last Planner o último planificador, normalmente el capataz, encargado o jefe de obra, se define como la última persona capaz de asegurar un flujo de trabajo predecible aguas abajo. LPS faculta al último planificador –la persona que asigna las tareas de trabajo directamente a los trabajadores– para conseguir compromisos de entrega en base a la situación real de un puesto de trabajo, en lugar de hacerlo en base a los planes teóricos. Se trata de un sistema Pull en lugar de un sistema Push porque es la actividad aguas abajo en la cadena o flujo de valor la que marca el ritmo y tira de la demanda y no a la inversa como ocurre en el sistema tradicional, en el que las actividades aguas arriba empujan la producción hacia las actividades aguas abajo, generando cuellos de botella, exceso de inventario y esperas, entre otros desperdicios. El plan de trabajo normalmente se realiza y mantiene en una Obeya Room o habitación grande, que suele ser una habitación, espacio o caseta habilitada para ello, instalada lo más cerca posible de la obra o lugar de trabajo, donde se ubica el equipo de trabajo.

Cuando el flujo de trabajo se hace más previsible, las obras se organizan mejor, las reuniones son más cortas, las disputas son menores y los cuellos de botella y las interrupciones en el flujo de trabajo se hacen más evidentes. Las decisiones se toman por consenso y los miembros del equipo deben ponerse de acuerdo en la relación existente entre las actividades, su secuencia y el tiempo de ejecución. Además, los miembros del equipo han de asegurarse de que tienen los recursos y el tiempo suficiente para completar los trabajos.

Según Ballard, en un sistema tradicional, el rendimiento del último planificador a veces es evaluado como si no pudiera haber ninguna diferencia posible entre “lo que debería hacerse” y “lo que se puede hacer”. Ante la pregunta “¿qué vamos a hacer la semana próxima?”, la respuesta más probable es “lo que está en el programa”, o “lo que está generando más urgencia”. Los supervisores consideran que su trabajo es mantener la presión sobre los subordinados para seguir produciendo a pesar de los obstáculos. La entrega irregular de recursos y la terminación impredecible de los trabajos previamente necesarios, invalidan la presunta ecuación de “lo que se hará” con “lo que debería hacerse” y rápidamente da lugar al abandono de la planificación que dirige la producción real.

Last Planner System (LPS) o sistema del último planificador añade un componente de control de la producción al sistema tradicional de gestión de proyectos. El LPS puede entenderse como un mecanismo para la transformación de “lo que debería hacerse” en “lo que se puede hacer”, formando así un inventario de trabajo realizable, que puede ser incluido en los planes de trabajo semanal. La inclusión de asignaciones en los planes de trabajos semanal es un compromiso de los últimos planificadores (supervisores, jefes de obra, etc.) de “lo que en realidad se hará”.

Así pues, LPS puede definirse como un método de control de producción diseñado para integrar “lo que debería hacerse” – “lo que se puede hacer” – “lo que se hará” – “lo que se hizo realmente” de la planificación y asignación de tareas de un proyecto. Su objetivo es entregar flujo de trabajo fiable y aprendizaje rápido.

LPS es un sistema colaborativo y está basado en el compromiso. Al contar con un enfoque sobre el conjunto general de todo el proyecto, LPS crea un sistema que

garantiza que cada semana la gente está cumpliendo sus compromisos del plan semanal; esta consistencia permite la eliminación del programa de relleno, planes de contingencia, exceso de inventarios y otras actividades que no añaden valor.

Cuando los flujos de trabajo son más predecibles, los subcontratistas pueden tomar ventaja del montaje fuera de la obra, donde los subconjuntos se pueden producir y ensamblar en un entorno controlado. Esto, generalmente lleva a conjuntos de mayor calidad, menor coste y menor tiempo de instalación en el lugar de trabajo. Otro de los beneficios de la estabilidad es que los proyectos terminen a tiempo; al no extenderse, se pueden ahorrar miles de euros a la semana en el coste de equipos, maquinaria, alquileres, mano de obra y otros recursos para mantener el sitio de trabajo activo. (Pons Achell, 2014, págs. 53-55)

Ilustración 4 Modelo general de Planificación del Proyecto usando LPS



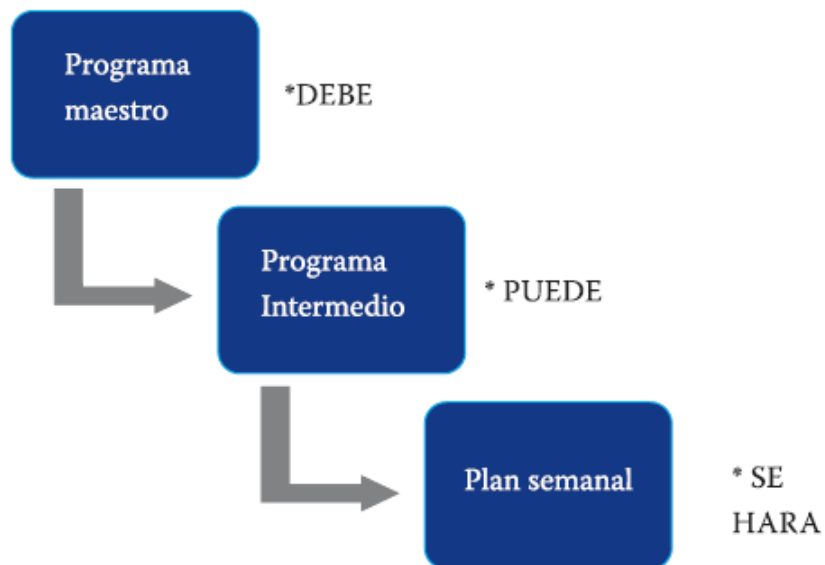
Fuente: The Last Planner System Of Production Control, Glenn Ballard (2000)

2.2.4.1 Estructura del Last Planner System.

La estructura del Sistema del Último Planificador se muestra en la Ilustración 5, se desarrolla en tres niveles distintos de planificación, desde lo más general hasta lo más específico planteando así un modelo de planificación en cascada que se basa en el principio del trabajo sistemático, donde la planificación se realiza en el nivel más bajo de jerarquía de planificadores es decir la última persona o grupo que tiene ver con la supervisión de los trabajos en obra (el último planificador). La filosofía es asegurar que todos los requisitos previos necesarios para realizar un trabajo estén en su lugar antes de asignar las cuadrillas de trabajo a las actividades. Según Ballard todas las tareas tienen tres categorías: deben, pueden y se harán. Estas reflejan cada nivel de planificación de la siguiente manera: el programa maestro

indica qué se debe realizar, el programa intermedio prepara el trabajo y realiza la revisión de las restricciones y el plan semanal programa una serie de actividades que pueden ejecutarse comprometiendo a los agentes al cumplimiento del programa. (Pons Achell, 2014, págs. 40-43)

Ilustración 5 Sistema de planificación Lean.



Fuente: Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: Estudio de caso de la ciudad de Medellín, Botero, L.F, Álvarez,

M.E

2.2.4.2 Planificación general o programa maestro

La planificación general es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos entre otros que hacen parte del proyecto. La programación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt, estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar la etapa de construcción en los proyectos.

2.2.4.3 Planificación Intermedia.

La planificación intermedia es el segundo nivel en la aplicación del Sistema Último Planificador y consiste en desglosar la programación general para evitar perder tiempo y material; se destacan aquellas actividades que deberían hacerse en un futuro cercano. Aquí se controlan la coordinación de diseño, los proveedores, los recursos humanos, los requisitos previos para hacer las actividades y la información para que las cuadrillas de trabajo cumplan con sus objetivos en obra.

Para hacer la planificación intermedia deben seguirse los siguientes procesos:

- **Definición del intervalo de tiempo**

Es medido por semanas, su número depende de las características del proyecto y de los tiempos para adquirir información, materiales, mano de obra y maquinaria. Como algunas actividades tienen tiempos de respuesta largos desde que inicia la petición hasta que se recibe la respuesta, los periodos para cada actividad en el programa maestro deben ser identificados durante la planificación inicial.

- **Definición de las actividades que serán parte del plan intermedio**

Se deben explorar minuciosamente todas las actividades del plan maestro que estén contenidas dentro de los intervalos definidos, esto permite obtener un

conjunto de tareas para cada intervalo de tiempo dado, cada una de las cuales tendrá unas restricciones que determinan su ejecución.

- **Análisis de restricciones**

Una vez identificadas las tareas que serán parte del plan intermedio es necesario asegurar que estén libres de restricciones para que puedan ser llevadas a cabo en el momento fijado.

Es necesario cumplir con dos etapas para asegurarnos que una actividad esté libre de restricciones:

Primera, revisión del estado de las tareas con respecto a la planificación intermedia teniendo en cuenta sus restricciones y la probabilidad de mover las tareas antes del tiempo para su comienzo. La revisión es el primer paso para controlar el flujo de trabajo, ya que impide la entrada de una tarea que tiene restricciones al plan intermedio, es decir su objetivo principal es filtrar la información que entra a la planificación intermedia.

Segunda, preparar las restricciones. Se trata de definir cuáles serán las acciones tomadas para remover las restricciones para iniciar la actividad en el tiempo planeado, y se debe desarrollar en tres fases: confirmar los tiempos de respuesta de los proveedores verificando quién es el último involucrado con la ejecución de la actividad, tener certeza de que el proveedor tendrá todo listo para el inicio de la tarea en obra y si los tiempos de respuesta anticipados son los adecuados; en caso de resultar demasiado largos se deberán acortar.

- **Intervalo de trabajo ejecutable**

Está compuesto por todas aquellas tareas que tienen la mayor probabilidad de ser ejecutadas, es decir, aquellas que pasaron por el proceso de revisión y están libres de restricciones; de esta manera se crea un intervalo de tareas que se han de ejecutar. Dentro del intervalo ejecutable existen diversos tipos de actividades, entre ellas:

- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al intervalo de trabajo ejecutable ITE de la semana en curso pero que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura.
- Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras.

En caso de que alguna actividad del ITE no pueda ser ejecutada o se ejecute antes, se proveerán otras para que las cuadrillas no queden libres de trabajo y con esto se da por finalizada la programación intermedia.

2.2.4.4 Planificación Semanal

Es la última fase de planificación del SUP y presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de un trabajo; es realizada por los administradores de obra, jefes de terreno, jefes de obra, capataces y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de los trabajos en obra. Se mide el porcentaje de Actividades Completadas PAC para saber porcentualmente cual fue el número de actividades programadas que realmente se ejecutaron en obra y así medir que tan efectiva fue

la planificación semanal y además tabular las causas por las cuales el PAC no fue del 100% para corregirlas en la siguiente semana.

- **Formación del programa de trabajo semanal**

El programa de trabajo semanal contiene las actividades que serán realizadas durante la semana. Se forma teniendo en cuenta las actividades que se pueden hacer según lo establecido en el ITE, seleccionando lo que puede ser ejecutado en cada semana; esto se denomina “asignaciones de calidad”, es decir que el plan de trabajo semanal estará compuesto solo por asignaciones de calidad. Para que el plan sea exitoso deben cumplirse los cinco criterios de calidad: definición, consistencia, secuencia, tamaño y retroalimentación.

- **Porcentaje de programa cumplido**

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal el Sistema Último Planificador mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el porcentaje de programa cumplido PPC, el cual compara lo que se planeó hacer según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho en obra. Para calcular el PPC es necesario tener el total de actividades que realmente se pudieron completar en obra, por tal motivo se debe llevar un formato donde cada actividad programada tendrá solo un estado de dos posibles: actividad completada o no completada, de esta forma se obtienen los totales de actividades cumplidas y no cumplidas. El PPC se calcula como:

$$PPC = \frac{(Total\ actividades\ cumplidas)}{(Total\ actividades\ programadas)} \times 100$$

Para un mejor análisis los resultados obtenidos al culminar cada semana se pueden ir graficando para evidenciar el rendimiento del SUP a lo largo de la ejecución del proyecto en su fase constructiva, colocando en el eje horizontal las semanas y en el vertical el PPC correspondiente a cada una. Con el grafico se podrá analizar que un aumento en el PPC de una semana a otra conduce a un mejor rendimiento en la ejecución de las labores por parte de las cuadrillas de trabajo.

- **Reunión de planificación semanal**

Antes de dar inicio a cada semana de trabajo se debe realizar una reunión para planear y discutir asuntos de planificación semanal; a dicha reunión deben asistir el administrador de obra, el jefe de terreno o encargado de la planificación, los supervisores y capataces, el representante de la oficina técnica y los subcontratistas. Los asuntos a tratar serán:

- Revisar y discutir el PPC de la semana anterior.
- Analizar las causas y posibles soluciones al incumplimiento de tareas programadas.
- Hacer un paralelo entre objetivos propuestos y alcanzados en el proyecto.
- Realizar toda la secuencia necesaria para tener el plan de trabajo de la siguiente semana.

Para lograr cumplir los asuntos planteados el coordinador del sistema de control y el último planificador deben llevar la siguiente información:

Coordinador:

- Programa maestro y planificación intermedia
- Comparación entre objetivos logrados y propuestos por el proyecto
- ITE actualizado.

El ultimo planificador:

- PPC y causas de incumplimiento.
- Información del estado del trabajo.
- Lista tentativa de tareas para la nueva semana.
- Revisión de restricciones de las tareas.
- Listado de las tareas que entrarán a la planificación intermedia y la planeación de la semana anterior.

La metodología de implementación del Sistema Último Planificador queda detallada como:

- Reunión con el grupo de trabajo.
- Creación de la planificación intermedia.
- Creación del inventario de trabajo ejecutable.
- Creación de la planificación semanal.
- Medición de los indicadores PPC y CNC.

En las implementaciones es importante que el grado de compromiso del equipo sea completo para tener una mejor fortaleza.

Los beneficios que trae la implementación del SUP son:

- Aumento de la seguridad en obra.
- Ayuda a estabilizar la producción.
- Facilita el control proactivo.
- Reduce los tiempos de espera.
- Fomenta relaciones eficaces.
- Funciona en proyectos grandes y pequeños.
- Añade valor al proyecto.
- Reduce los costes del personal especializado en obra.
- Fomenta el valor, el flujo y la transformación.

3 ¿Cómo se aplican los principios de Koskela en una empresa Lean Construction?

3.1 Metodología

La forma a realizar este estudio es mediante la generación de una matriz de doble entrada, donde se presentan las fases del ciclo de vida del proyecto según el Lean Project Delivery System y los stakeholders involucrados en el proyecto, ya sea dentro de la empresa constructora como fuera de ella.

En cada celda, se determinarán si los stakeholders tienen incidencia en la fase estudiada del ciclo de vida del proyecto. Y en caso de tener incidencia, se determinarán cuál o cuáles de los 11 principios se cumplen y como se cumplen.

3.2 Tabla

3.3 Justificaciones

- Definición del proyecto:
 - Propósitos:
 - Vecinos: No participan, puesto que las necesidades a satisfacer son del mandante.
 - Mandante: Es clave en esta fase, puesto que expresa sus necesidades y objetivos al equipo multidisciplinario. Ya sea de uso final, diseño, tamaño, altura, etc.
 - Trabajadores: No participan.
 - Contratista: Al conocer las necesidades del Mandante, él ya puede ir definiendo como alcanzar los objetivos planteados, agregando el mayor valor posible al proyecto.
 - Arquitecto: El Mandante, al comunicarle al equipo multidisciplinario sus necesidades, el Arquitecto ya comienza a realizar una labor parecida a la del Contratista, es decir, pensando en un posible diseño para satisfacer las necesidades del Mandante, con el propósito de aumentar el valor requerido.
 - Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
 - Proveedores: No participan en esta etapa.
 - Subcontratistas: No participan en esta etapa.

- Criterio de Diseño:

- Vecinos: En el caso de que sea un proyecto público (Hospitales, plazas, municipalidades, etc.) o un proyecto privado con participación ciudadana, los vecinos podrían participar preguntándoles si los posibles diseños podrían afectar de alguna forma su diario vivir (No es lo mismo vivir al lado de un edificio de 20 pisos que uno de 3 o vivir al lado de un hospital de última tecnología)
- Mandante: Dando a conocer sus requerimientos, el Mandante debe conocer las legalidades de un proyecto de edificación para determinar si se pueden satisfacer todas sus exigencias o deberá realizar modificaciones, para aumentar o disminuir la cantidad de valor.
- Trabajadores: No participan en esta etapa
- Contratista: Debe tener conocimientos totales de las Normativas Chilenas de Construcción (NCh) para tener un diseño adecuado con el máximo valor posible para el Mandante. Además, conociendo la forma del diseño, ya se puede minimizar los pasos para su construcción.
- Arquitecto: Asimismo que el Contratista, el Arquitecto debe tener conocimientos completos en las Normativas Chilenas de Construcción (NCh) para tener una gama amplia de opciones de diseño que estén dentro del marco regulatorio y cumplan

con las exigencias propuestas por el Mandante, aumentando al máximo la cantidad de valor al proyecto.

- **Municipalidad/Gobierno:** Cuando las entidades gubernamentales se encuentran en el equipo multidisciplinario, favorece a la consecución más rápida de los permisos asociados a la construcción, además de asesorar legalmente al equipo para generar diseños que cumplan con el marco regulatorio del sector y genere el máximo valor posible.
- **Proveedores:** Al estar presente en esta etapa, los Proveedores pueden presentar nuevos materiales que cumplan con las exigencias del Mandante, cumplan con las Normativas Chilenas de Construcción y son económicamente alcanzables, agregando valor al proyecto.
- **Subcontratistas:** No participan en esta etapa
- **Conceptos de Diseño:**
 - **Vecinos:** Cuando los vecinos son partícipe del proceso de diseño, el proyecto gana valor al ser consultados si los diseños son de su agrado o si son amigables con el entorno. (Un ejemplo de ello es el Cristo Redentor de Rio de Janeiro, en el cual se le preguntó a la ciudadanía que gesto les gustaría que estuviera haciendo Jesús. Otro ejemplo es el Hotel Huilo Huilo Montaña Mágica Lodge, una edificación

ubicada en la Reserva Biológica Huilo Huilo que cuenta con una arquitectura que busca mimetizar el edificio con la naturaleza que lo rodea.

- Mandante: Debe conocer todos los diseños en los que el equipo multidisciplinario está trabajando para poder determinar cuál es el que cumple con todas las exigencias, satisface sus necesidades y tiene el máximo valor posible. Ese proyecto que el Mandante elija, será el que pase a la siguiente etapa.
- Trabajadores: No participan en esta etapa
- Contratista: Dependiendo de los tipos de diseños que se están trabajando, el Contratista puede ir simplificando los diseños para su construcción, aumentar su valor mediante la creación de EE.TT, realizar observaciones con el fin de complacer las exigencias del Mandante.
- Arquitecto: En esta fase, el Arquitecto debe dar a conocer diferentes propuestas, generalmente uno mejor que el anterior y en calidad de anteproyecto, con el fin de dar cuenta al equipo multidisciplinario y en especial al Mandante de en qué se está trabajando.
- Municipalidad/Gobierno: Tal como se dijo en la etapa anterior, la entidad gubernamental que esté involucrado en el equipo multidisciplinario estará asesorando los diseños desde el

punto de vista regulatorio, de modo que no se cumpla ninguna infracción a las Normativas Chilena de Construcción o a alguna Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). A su vez, también podrá validar anticipadamente los diseños, evitando una demora en la consecución de los permisos municipales.

- Proveedores: Ellos pueden determinar la materialidad con el cual será construido, de modo que sea más económico o costoso, pero siempre considerando los gustos del mandante para lograr el máximo valor posible.
- Subcontratistas: No participan en esta etapa

- Diseño Lean:

- Conceptos de Diseño: Las justificaciones para esta fase son las mismas para la fase anterior.
- Diseño de Procesos:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: No participa en esta etapa.
 - Trabajadores: Al igual que los Subcontratistas, los trabajadores deben ingresar al equipo multidisciplinario para determinar cómo será el proceso del proyecto a desarrollar y si es posible la reducción de procesos y/o pasos. Además, deben participar en la creación de la carta Gantt del proyecto mediante la ejecución del Sistema del Último Planificador

(Last Planner System en inglés) con el fin de reducir la variabilidad.

- Contratista: En conjunto con el equipo multidisciplinario, en el cual desde la fase anterior se integraron los Trabajadores, van a crear la Carta Gantt del proyecto mediante el LPS para reducir la variabilidad, con el fin de agregar buffers¹, reducir pasos, reducir procesos, tiempos de despachos, etc. Además, deberá realizar un benchmarking interno con el fin de determinar la manera que más valor agrega al proyecto.
- Arquitecto: Debe generar la Carta Gantt en conjunto con el equipo multidisciplinario con el fin de determinar los plazos, momentos de abastecimiento (en primera instancia), en que momento agregar buffers, etc. Se realizará con el empleo de la herramienta LPS para evitar variaciones en la compleción de la Carta Gantt. Al igual que el Contratista, el Arquitecto deberá hacer un benchmarking interno con el propósito de considerar diferentes maneras de realizar un proyecto y que tenga el máximo valor para el proyecto.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: Participan en esta etapa, en la confección de la Carta Gantt para determinar, desde antes de la construcción

¹ Buffers: Holgura de tiempo para realizar una partida determinada.

del proyecto, cuando debería ser los primeros despachos de material y en qué cantidad.

- Subcontratistas: Como miembro del equipo multidisciplinario, deben conocer el proyecto desde sus inicios, conocer los tiempos empleados y participar en la creación de la Carta Gantt. Al igual que los Trabajadores, deben estar atentos a donde puedan existir tiempos muertos y comunicárselos a los demás profesionales para tener medidas especiales para combatir variaciones.
- Diseño de Productos:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: En esta etapa, el Mandante comienza a reconocer como serán cada una de las partes del proyecto (como serán los muros, sus materiales, sus dimensiones, etc.), pudiéndolas modificar para cumplir con sus exigencias.
 - Trabajadores: Como esta etapa se realiza en simultaneo con la etapa anterior, los Trabajadores deben conocer el producto que se va a construir. Esto sirve para desde ya eliminar pasos, tiempo de ciclo, etc. Y al igual que en la etapa anterior, se realizará con la herramienta LPS para disminuir la variabilidad del proceso.

- Contratista: En conjunto con el equipo multidisciplinario comienzan a definir los planos específicos de los productos (EE.TT), determinar las actividades que no agregan valor, etc.
- Arquitecto: Debe diseñar todas las partes del proyecto a construir en conjunto con el equipo multidisciplinario, determinar la duración de cada partida para la creación de la Carta Gantt y para determinar si el diseño en que se está trabajando es constructable. Así mismo, para reducir la variabilidad del proceso, se utilizará la herramienta LPS.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: En la creación de los planos de cada especialidad, el Proveedor puede dar a conocer al equipo los materiales que tiene a disposición y que sean apropiados para las terminaciones que desea el Mandante, duraciones de partidas, cantidades de despachos, etc.
- Subcontratistas: De igual manera que los Trabajadores, los Subcontratistas deben conocer el producto a diseñar, de manera que conocen el proyecto desde el comienzo y pueden determinar donde existen pasos de sobra y eliminarlos para reducir el tiempo de ciclo. A su vez y de igual manera que todos los miembros del equipo multidisciplinario, utilizarán la herramienta LPS para completar esta etapa y reducir la variabilidad del proceso.

- Suministro Lean:
 - Diseño de Productos: Las justificaciones para esta fase son las mismas para la fase anterior.
 - Ingeniería de Detalles:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: No participa en esta etapa.
 - Trabajadores: Conocen desde el comienzo de la idea cómo será el proyecto, conocen las cantidades de materiales que deberán utilizar, donde pueden existir los problemas antes de que ocurran, y validan que los planos que se están creando sean entendibles y concuerden todos los planos que se están haciendo.
 - Contratista: Se comienza a definir los espacios a utilizar en el terreno a construir, ya sea donde irán las oficinas, los comedores, la bodega y todo lo pertinente para la edificación del proyecto. Además, para disminuir la variabilidad se procurará que no existan cambios en los planos y de existir, que sean lo más mínimo posible. De igual manera que en la etapa anterior, se verificará en conjunto con los planos y las bases, reducir y/o eliminar los pasos que se encuentran demás en el proceso.
 - Arquitecto: Para la elaboración de los planos finales, el Arquitecto ultima los detalles de cada una de las partes del

proyecto para evitar re-trabajos, demoliciones o cualquier desperdicio. Se utilizará la herramienta LPS para lograr a compleción de los planos y evitar la variación del proceso.

- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
 - Proveedores: En esta etapa, los proveedores ya saben que material deberán abastecer y en qué cantidades podría abastecer y en qué lugares deberán llegar.
 - Subcontratistas: De igual manera que los Trabajadores, revisan que los planos todos los planos sean coherentes, determinan donde pueden existir posibles problemas, y conocer el proyecto desde sus inicios, conociendo cuáles serán los materiales a emplear, en que cantidades y en qué momento.
- Fabricación y Logística:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: No participa en esta etapa.
 - Trabajadores: Netamente en la fabricación, los Trabajadores ya conocen el proyecto a cabalidad, lo cual permite reducir las actividades que no agregan valor, aumentar los procesos que si agregan valor y comenzar con algunos pre-fabricados, lo cual aumenta el valor del proyecto.
 - Contratista: Respecto a la Fabricación, el Contratista en conjunto con los Trabajadores y los Subcontratistas verificaran

que los procesos se puedan disminuir las actividades que no agregan valor, aumentar las actividades que si lo hacen y potenciarlas.

En la Logística, el Contratista movilizará los recursos necesarios para la compleción de las partidas en que se están trabajando, es decir, dispondrá de más materiales, más mano de obra especializada (o la reasignará o la quitará), o disponer de mayor número de maquinaria. Los materiales lo verá conjuntamente con los Proveedores, quienes podrían realizar ajustes a la cantidad de despachos y del material despachado.

- Arquitecto: No participa en esta etapa.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: Dado que se encuentra presente desde el inicio del proyecto, conoce el lugar del proyecto, el material a emplear, las cantidades de despacho y el tamaño de los despachos, deberá determinar la estrategia de como abastecer al proyecto. Dicha estrategia la determinara en conjunto con el Contratista, de modo de asegurar un flujo constante y confiable de abastecimiento.
- Subcontratistas: Al igual que los Trabajadores, los Subcontratistas conocen el proyecto completamente, lo cual permite determinar si existe la posibilidad de eliminar pasos

que están de más, dar solución a futuros problemas que se puedan presentar, eliminar procesos que no agregan valor y potenciar los procesos que si lo hacen.

- Ensamble Lean:
 - Fabricación y Logística: Las justificaciones para esta fase son las mismas para la fase anterior.
 - Instalación:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: No participa en esta etapa.
 - Trabajadores: Los trabajadores, a medida que van avanzando en el proyecto, deben tener la capacidad y seguridad de que pueden eliminar actividades que están de más y no generan valor, de manera de realizar siempre una mejora continua. Al existir una curva de aprendizaje, se espera que los tiempos de ciclo vayan disminuyendo, sobretodo en el tiempo de transformación del material. Tiene que existir una transparencia del proceso, de manera que todos sepan lo que se está/debe realizar y que todo esté debidamente señalado. El control al proceso completo se efectúa mediante la realización del LPS, en donde un capataz se hará responsable de la partida asignada de la semana y/o del día. El empleo del LPS significa también una reducción en

la variabilidad del flujo de las 5 m's (mano de obra, maquinaria, materiales, método y medio ambiente).

- Contratistas: Al igual que los trabajadores, el contratista debe velar por el flujo de trabajo sea lo más constante y fluido posible. Eso equivale a que deba analizar el flujo y eliminar las partidas que no agregan valor, aumentar la eficiencia de las que sí lo hacen y la simplificación del proceso. A su vez, en cada proyecto, debe ver la flexibilidad de la producción sea acorde a los acontecimientos del día (variaciones, ya sean propias del sistema o ajenas) y que la transparencia sea la máxima posible en el proyecto.
- Arquitecto: No participa en esta etapa.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: Como ya se comentó en la etapa anterior, los proveedores deben tener un flujo de abastecimiento constante, lo cual es de gran ayuda para no tener variaciones y permite tener un tiempo de ciclo bien establecido y constante (Por ejemplo, el pedido siempre se demora una hora desde que se hizo el pedido hasta que llegue al proyecto). A su vez, debe realizar un mapeo de cómo está realizando su trabajo, de modo que pueda encontrar oportunidades de mejora y/o reducir las actividades que no agregan valor.

- Subcontratistas: Los subcontratistas, al igual que los trabajadores, a medida que van avanzando en el proyecto, deben tener la capacidad y la seguridad de que pueden eliminar actividades que están de más y no generan valor, de manera de realizar siempre una mejora continua. Tiene que existir una transparencia del proceso, de manera que todos sepan lo que se está/debe realizar y que todo esté debidamente señalado. El control al proceso completo se efectúa mediante la realización del LPS, en donde un capataz se hará responsable de la partida asignada de la semana y/o del día. El empleo del LPS significa también una reducción en la variabilidad del flujo de las 5 m's (mano de obra, maquinaria, materiales, método y medio ambiente).
- Puesta en Marcha:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: En esta etapa, el Mandante debe velar que el proyecto cumpla a cabalidad con las condiciones, exigencias y necesidades que planteo. Debe avisar al equipo multidisciplinario las conformidades y las inconformidades que él encuentre.
 - Trabajadores: No participa en esta etapa.
 - Contratista: Debe revisar cada una de las partes que conforman el proyecto en su totalidad, y para dicho proceso

deberá establecer una forma de revisión con todo el equipo multidisciplinario para que sea de la forma más completa posible. Además y al término de esta fase, el Contratista debe realizar un benchmarking competitivo para determinar cómo puede mejorar el proceso constructivo de cada uno de los proyectos en los que se encontrará.

- Arquitecto: Al igual que el Contratista, el Arquitecto también deberá determinar cómo realizar una revisión, en conjunto con el equipo multidisciplinario, de manera que sea simple y apropiada al proyecto. Además, y en conjunto con el equipo multidisciplinario deberá realizar un benchmarking Competitivo para determinar cómo mejorar el proceso constructivo de los proyectos en que se encontrará.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: No participa en esta etapa.
- Subcontratistas: No participa en esta etapa.

- Uso:

- Puesta en Marcha: Las justificaciones para esta fase son las mismas para la fase anterior.
- Operación y Mantenimiento:
 - Vecinos: Los vecinos comienzan a utilizar las dependencias del proyecto, ya sea un estadio deportivo, un hospital, un teatro, las tiendas comerciales de edificios, etc.

- Mandante: Una vez que tenga su proyecto construido, el Mandante comienza a utilizar su producto de la forma que más le convenga.
- Trabajadores: Se debe tener un equipo de mantenimiento, debido a que en la normativa chilena N° 20.016 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, indica que la empresa constructora se debe hacer responsable en caso de fallas o defectos que afecten a las edificaciones, que pueden ser de 10 años (cuando afectan a la estructura), 5 años (cuando afectan a los elementos constructivos o de instalaciones) o 3 años (cuando afectan las terminaciones o de acabado. A su vez, gracias a las herramientas que ayudan a la elaboración del proyecto y agregan más valor, se puede realizar mejoras del proceso.
- Contratista: Debe disponer de un equipo en caso de reparaciones y/o mantenimiento de carácter obligatorios acordes a la Ley N° 20.016. Además, en la documentación que se debe dejar anteriormente, se debe nombrar la empresa subcontratada que realizó las diversas instalaciones para que puedan acudir a realizar las mantenciones de cada una de las especialidades que efectuaron.

- Arquitecto: En conjunto con el Equipo Multidisciplinario, debe realizar un plan para efectuar las distintas mantenciones, acordando fechas y duraciones.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: No participa en esta etapa.
- Subcontratistas: Teniendo en consideración la Ley N° 20.016, y en conjunto con el equipo multidisciplinario, se van a determinar las fechas en que se deben realizar las mantenciones, agregando el máximo valor posible.
- Alteraciones:
 - Vecinos: No participa en esta etapa.
 - Mandante: El mandante debe avisar a todo el equipo multidisciplinario cuando se requiera ciertas alteraciones superficiales al proyecto, ya sea como un cambio de color en las murallas o un cambio de puerta.
 - Trabajadores: Los trabajadores deben avisar a todos los integrantes del equipo multidisciplinario si ciertas partes del proyecto terminado requieren algún retoque antes del cierre del proyecto.
 - Contratista: El contratista, en conjunto con todo el equipo multidisciplinarios, en especial con el Mandante, deberá consultar si las terminaciones son de su agrado o no. En caso de que exista alguna disconformidad con el proyecto, se

deberá realizar los cambios pertinentes de imagen, como cambio de color de pintura, cambio de puertas, quincallería, etc. Tales cambios se deben avisar a los trabajadores para que los solucionen.

- Arquitecto: En conjunto con el equipo multidisciplinario, el Arquitecto debe tener conocimiento pleno de las conformidades y no conformidades que el Mandante pueda presentar. Esto con el propósito dar solución a las no conformidades y de tener una retroalimentación que sirva para los futuros proyectos en todo el ciclo de vida.
- Municipalidad/Gobierno: No participa en esta etapa.
- Proveedores: No participa en esta etapa.
- Subcontratistas: No participa en esta etapa.

3.4 Tecnologías y herramientas Lean

Existen variadas herramientas que apoyan algunos de los principios lean, ya sean técnicas o herramientas computacionales (software especializados).

3.4.1 Tecnologías

3.4.1.1 *BIM*

BIM, Building Information Modeling, es el nombre comercial que las empresas de software han creado para este concepto. BIM se refiere a los modelos virtuales en computadora que incluyen la geometría de todos los elementos que componen un proyecto de construcción, así como los datos paramétricos de información relacionada al producto tales como especificaciones técnicas, materiales, ubicaciones, estado de avance del producto, entre otros. Estos modelos virtuales mejoran la comunicación visual del producto a través de vistas y perspectivas, así como la comunicación entre los participantes en el diseño y construcción. A través del modelo se centraliza la información y sirve como fuente para la mejora del diseño, el análisis de constructabilidad, detección de interferencias y oportuna toma de decisiones en beneficio del costo y plazo del proyecto.

- BIM en la Etapa de Diseño

Dentro del Sistema Lean Project Delivery System, la fase Lean Design propone la inclusión de Tecnologías de la Información, a través de modelos 3D, que permitan evaluar el diseño a través de múltiples alternativas, mientras que la geometría compartida es usada entre los diseñadores para minimizar interferencias y conflictos

entre las especialidades (Ballard 2000). Además, un modelo 3D es una herramienta de soporte para el diseño simultáneo del producto y del proceso (Ballard y Zabelle 2000). Mientras se desarrollan los componentes de la construcción, los Equipos Multidisciplinarios de Diseño discuten cómo se fabricarán y como se construirán los productos.

Las herramientas BIM sirven de soporte para aumentar la productividad del proceso de diseño de un proyecto, pues centraliza en un solo modelo las especialidades de arquitectura, estructuras e instalaciones y reduce iteraciones negativas entre los proyectistas.

- Constructabilidad y modelos 4D

La Filosofía Lean Construction propone la formación de Equipos Multidisciplinarios de Diseño que concurren en el momento de la toma de decisiones de los productos en cuestión. La Constructabilidad se vuelve un elemento importante en esta etapa, pues los constructores pueden incorporarse a estos equipos y añadir al diseño del producto, el diseño del proceso de construcción. De esta manera, se evitará en etapas futuras problemas por cambios o modificaciones que limiten el flujo continuo de las actividades.

Los modelos BIM en 3D pueden ser elevados a una cuarta dimensión con la incorporación de la variable del tiempo. Existen softwares que unifican los modelos 3D con un cronograma y reproducen la película de la construcción. Los modelos 4D sirven de soporte para el análisis de la constructabilidad, pues se logran modelar escenarios no imaginables en simples planos 2D. La construcción de sótanos cada

vez más profundos en terrenos muy reducidos, la logística para los transportes horizontales y verticales, el almacenamiento temporal de materiales en proyectos cada vez más complejos, hacen que los planificadores requieran herramientas más potentes que los ayuden a visualizar distintos escenarios de construcción, con el fin de mejorar la confiabilidad de la planificación y una mejor estimación de plazos y costos.

- BIM en la de Etapa de Construcción

El uso de modelos BIM durante la etapa de construcción involucra la incorporación de la herramienta en los análisis de Look Ahead y del Último Planificador.

Planificación del Layout en distintos escenarios: los modelos 3D y 4D ayudan a construir lo que los planificadores siempre hacen mentalmente, pero no pueden reproducir adecuadamente en una hoja de papel. Los modelos permiten planificar la ubicación de materiales y equipos en escenarios cambiantes, como por ejemplo en la construcción de sótanos. Permite además ubicar grúas y elementos de izaje vertical y de movimiento horizontal.

Comunicación con el Último Planificador: la discusión de la planificación semanal de obra requiere de herramientas visuales más potentes para que los maestros de obra, capataces y subcontratistas estén alineados con las metas de planificación. Es así que los modelos tridimensionales permiten una discusión colegiada de la planificación y posible detección de interferencias por flujo de materiales y equipos. Los modelos 4D mejoran la comunicación entre planificadores y cuadrillas.

Metrados directos y costos: se puede asignar a cada elemento la información sobre la incidencia y metrados de los materiales que lo componen y sus costos. Este proceso evita hacer metrados convencionales y elimina la necesidad de digitar más de una vez los mismos datos.

Logística y proveedores: los modelos 3D permiten mejorar la comunicación con los proveedores y subcontratistas, permitiendo la pre-fabricación de los componentes o fabricación de elementos a medida, de tal manera que la obra sea el sitio de ensamble bajo la estrategia de producción “just in time”. Se puede asignar a cada elemento el estado de avance de construcción, así como las cantidades de materiales a utilizar en un plazo determinado, con lo que se puede obtener cronogramas automáticos de despachos de materiales y volúmenes para almacenamiento temporal.

El primer camino es aplicar modelos 3D desde la etapa de diseño. Los Equipos Multidisciplinarios de diseño participan desde el anteproyecto: el arquitecto modela en BIM la arquitectura que concurrentemente es usada por los ingenieros especialistas de estructuras e instalaciones. Así, cada una de las especialidades usa el modelo 3D de manera simultánea, y luego se integra una sola plataforma para la identificación y resolución de interferencias.

El segundo camino, y posiblemente el más cercano, está en mano de los constructores. Los proyectistas entregan los planos en 2D a los constructores y estos modelan en 3D los proyectos. El modelo recopila toda la información descrita en las especificaciones técnicas y utiliza el 4D para modelar el proceso constructivo. (Sánchez, 2017)

3.4.2 Herramientas

3.4.2.1 Target Costing

El Target Costing tiene su origen en la industria automovilística japonesa. La forma tradicional de asignar el precio de los productos era calcular el costo de su fabricación y añadirle la utilidad deseada. Sin embargo, durante la crisis posguerra era difícil que los clientes accedieran a comprar automóviles al precio propuesto por las empresas. De esta manera, al observar que el precio de los productos estaba fuertemente determinado por lo que el cliente podía o esperaba pagar, para obtener las utilidades deseadas, era necesario producir a un costo igual o menor al precio que pagaría el mercado menos las ganancias deseadas, este costo es el llamado target cost. (Liker, 2013)

Este enfoque presenta cambios radicales respecto al costeo tradicional. En primer lugar, el mercado es ahora el que dirige la planificación de los costos. Además, el diseño toma un papel muy importante en los proyectos, buscando evitar pérdidas y desperdicios en todo el proceso de diseño y ejecución. Finalmente los costos son determinados por equipos multidisciplinarios y los proveedores comienzan a jugar un rol importante en etapas iniciales del proyecto. (Capasso, 2010)

3.4.2.2 5S

5S es una herramienta que apunta a la mejora continua, entregando un método estructurado para alcanzar, mantener y mejorar la configuración, organización y diseño de un área de trabajo para asegurar operaciones seguras y eficientes, con un mínimo de residuos. Estas 5S son muy importantes para una implementación correcta de Lean Construction y permite la eliminación de desperdicios.

Las 5S provienen de cinco palabras en japonés, donde la primera letra es la S, las cuales son las siguientes:

- Seiri (Clasificación): Se debe tener solo lo que se va a utilizar en el lugar de trabajo. Todo lo demás se deberá retirar del lugar para no desperdiciar tiempo buscando alguna herramienta u objeto.
- Seiton (Orden): Se define el lugar para cada objeto esencial, así se mantiene la seguridad y el acceso fácil. “Un lugar para todo y todo en su lugar”.
- Seiso (Limpieza): Se debe mantener el lugar de trabajo limpio, las herramientas y el equipamiento de trabajo también deben estar limpias.
- Seiketsu (Estandarización): Fijar un estándar permite que sea más fácil de mantener. Esto asegura la seguridad y el trabajo productivo está siendo constantemente alcanzado.
- Shitsuke (Mantener): Se debe mantener en el tiempo estas prácticas para tener un alto estándar constante y no volver a las prácticas anteriores.

5S se aplica en cualquier área de trabajo, ya sea en faena, bodegaje, oficinas, etc. Apoya directamente a las prácticas de trabajo seguro y representa el estándar en

que un lugar de construcción debería ser operado y la forma en que se realiza el trabajo.

La aplicación de 5S beneficia en (Gonzalez Álcántara, 2013):

1. Crea un ambiente de trabajo más seguro
2. Apoya el trabajo eficiente: El tiempo de trabajo no productivo es minimizado.
3. Fija un estándar de trabajo para el lugar de construcción.
4. Permite ver donde pueden existir potenciales problemas e ineficiencias.
5. Apoya la gestión visual.
6. Promueve un buen ambiente laboral, resultando en una moral y una imagen mejorada.

Esta herramienta fomenta la Transparencia para el cliente interno, quien se encuentra aguas abajo en la flujo de trabajo, lo cual permite que todo el personal de trabajo sepan todo lo pertinente al proyecto, ya sea en el ámbito de seguridad, almacenamiento, métodos de trabajo o en la identificación de posibles problemas y la Reducción de las Actividades que no Agregan Valor (Trabajo Contributivo o Trabajo No-Contributivo)

3.4.2.3 Solución estructurada de problemas

La solución estructurada de problemas es un enfoque basado en el equipo para resolver continuamente problemas y/o eventos que tienen un efecto perjudicial en la compleción de una actividad de trabajo. Típicamente, un problema está relacionado a un problema en seguridad, calidad, previsibilidad, productividad y/o costos. El

punto es identificar la causa raíz de un problema y resolver el problema desde la fuente en vez de tratar continuamente con los síntomas del problema.

Esta herramienta puede ser utilizada en cualquier etapa del proyecto, cuando se presenta algunos de estos:

- Identificación de potenciales problemas.
- Donde ha habido una caída en el rendimiento.
- Donde los análisis de datos ha identificado problemas que producen demoras, retrasos, baja calidad, etc.

3.4.2.3.1 Modelo de reporte A3

Es un modelo de reporte de una sola página, que es llamado de esa forma por el tamaño de papel utilizado (11" x 17"). Es una lámina que el equipo puede usar para garantizar que el enfoque estructurado es aplicado al resolver la causa raíz de un problema y proponer soluciones o contra medidas (Jimenez, 2013).

En vez de realizar informes de muchas páginas, A3 obliga al escritor a ser conciso.

La estructura del modelo de reporte depende de las necesidades de la situación, pero generalmente presente la siguiente distribución:

- Antecedentes
- Situación Actual
- Planteamiento de Objetivos
- Análisis de Causa Raíz
- Plan de puntos de Acción/Ejecución

- Comprobación de los resultados
- Seguimiento

Beneficios de la implementación:

1. Entrega un enfoque sencillo y fácil de usar.
2. Estimula la interacción entre los participantes de un equipo y de soluciones novedosas.
3. Estimula el aprendizaje continuo.
4. Saca a la luz todos los problemas y no los oculta.
5. Evita desperdicios de tiempo como tiempo de espera de respuesta.
6. Capacita a los nuevos trabajadores y líderes de una manera científica y repetible.

3.4.2.3.2 Ishikawa

También conocido como análisis de espina de pez, es un proceso de lluvia de ideas visuales o diagramático para identificar los factores más probables de contribuir al problema.

La estructura es intuitiva: Identificar un problema y se escribe en la cabeza. El equipo realiza una lista de las causas potenciales que podrían contribuir en el problema, y se escriben de bajo de cada una de las 5M (Material, Mano de obra, maquinaria, Método, Medio ambiente). A su vez, cada causa se puede dividir en sub-causas, lo cual permite tomar acciones correctivas para eliminar el problema.

Se puede establecer una importancia de las principales causas de modo de determinar unas antes que otras. Asimismo, se puede agregar cualquier otra información que sea de ayuda para el proceso y permita la resolución del problema.

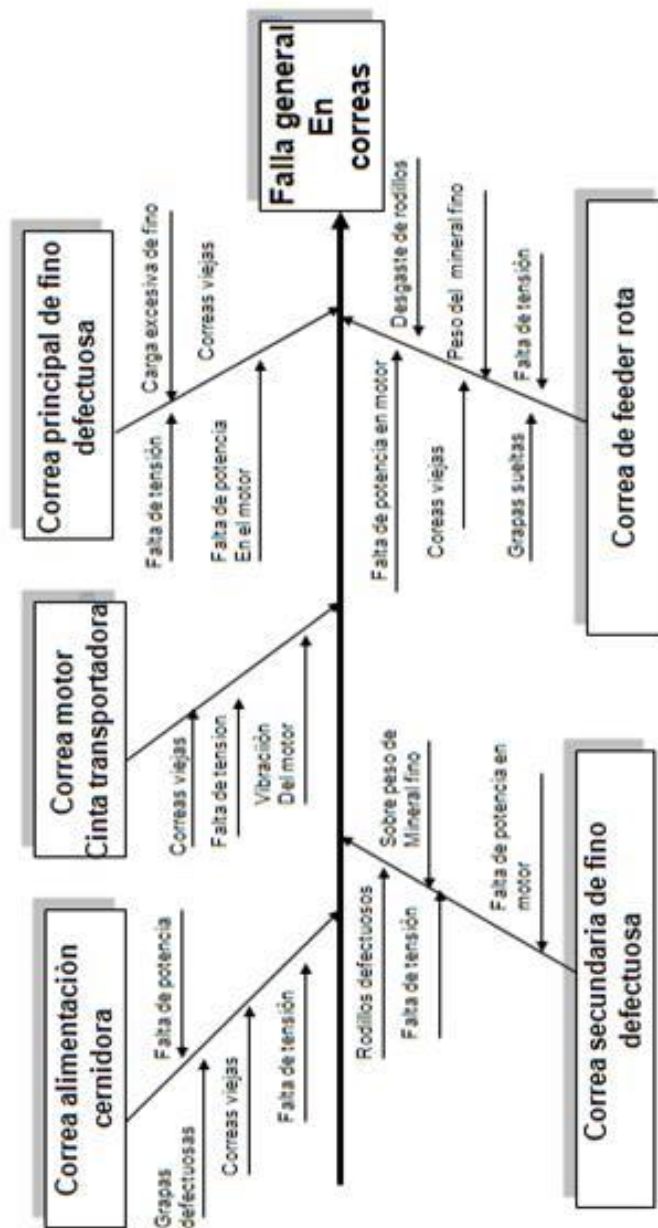


Ilustración 6: "Ejemplo de Diagrama de Ishikawa".²

² <http://www.monografias.com/trabajos102/disenio-modelo-gestion-mantenimiento-planta-reciclado/disenio-modelo-gestion-mantenimiento-planta-reciclado2.shtml>

3.4.2.3.3 5 porqués

Es un proceso sistemático de cuestionamiento usado para identificar la causa raíz del problema. La implementación ante cualquier problema es preguntarse cinco veces ¿Por qué?, con el objetivo de tomar las acciones necesarias para darle solución al problema.

Hay que tomar en cuenta que no deben ser exactamente cinco preguntas, quizás más o menos dependiendo de la longitud del proceso en que encontró el problema.

Se puede emplear en situaciones como resolución de problemas, eliminación de desperdicios y se puede utilizar también en diagramas de flujo de ciertos procesos.

Un ejemplo de un producto defectuoso que pesa más de lo permitido en las especificaciones:³

1. ¿Por qué ha ocurrido el defecto en el producto? -> Porque la báscula no pesaba bien.
2. ¿Y por qué no pesaba bien? -> Porque la báscula no estaba calibrada.
3. ¿Y por qué no estaba calibrada? -> Porque no se siguió el calendario de calibración.
4. ¿Y por qué no se siguió el calendario de calibración? -> Porque la persona responsable estaba de vacaciones.
5. ¿Y por qué no había una persona de sustituto? o bien ¿Por qué no se calibró antes de irse de vacaciones? -> etc...

³ Ejemplo tomado de : <http://www.pdcahome.com/los-5-porques-2/>

A partir de ahí podemos establecer conclusiones y poner soluciones. En este caso la solución podría ser poner un suplente a la persona que realiza las calibraciones durante su periodo de vacaciones.

La solución estructurada de problemas se debe aplicar:

- En grupos de no más de ocho personas.
- Para asegurar un completo entendimiento del problema, se debe visitar el proceso y hablar con las personas involucradas.

Además, la solución estructurada de problemas da los siguientes beneficios:

1. Mejora la previsibilidad
2. Reduce la variabilidad.
3. Menos desperdicio de proceso, lo cual ahorraría tiempo y recursos.
4. Mejora la calidad, seguridad, entrega y costos.
5. Aumenta la satisfacción del cliente

Los beneficios de este conjunto de herramientas apoyan algunos principios lean, tales como “Reducción de Actividades que No Agregan Valor”, “Incremento del Valor del Producto”, “Reducción de Variabilidad del Proceso”, “Reducción del tiempo de Ciclo”, “Enfocar el control al Proceso Completo”, “Incrementar la Eficiencia de Actividades que Agregan Valor” y “La Mejora Continua del Proceso”.

3.4.2.4 Mejora de Operaciones

Se trata de mejorar la manera en que el trabajo es llevado a cabo, mediante la remoción de desperdicio del proceso y asegurando que la mejor forma de completar el trabajo se está utilizando. La Mejora de Operaciones apunta a reducir el tiempo de ciclo que demora en completar una actividad del trabajo, mejora la productividad, asegura la calidad de “hacerlo a la primera” y apoya el trabajo seguro.

La Mejora de Operaciones cubre:

- Identificación y eliminación de factores que previenen una compleción efectiva y eficiente del trabajo.
- Monitoreo, análisis y mejora del desempeño.
- Optimización de la manera en que el trabajo es llevado a cabo, cubriendo la configuración, organización y operación del ambiente laboral, los métodos usados y el tipo, nivel y uso efectivo de todas las formas de recursos.

3.4.2.4.1 DILO (Day in the Life of)

Es un estudio de que tan bien un sitio está operando en términos de preparación, organización, despliegue de recursos, logística y un estudio de observación general de las obras de construcción.

Este enfoque cubre:

- Una revisión general y crítica de un sitio de construcción
- La manera en que, específicamente, las actividades del trabajo son organizados y ejecutados.

- Acompañar a todo el personal del equipo multidisciplinario, tales como el jefe de terreno, para identificar exactamente qué actividades de gestión de trabajo es llevado a cabo. Esto proporciona la capacidad de evaluar la cantidad real de valor añadido de la actividad y fue prevalente en el momento del estudio.

DILO ayuda a identificar los desperdicios más importantes y oportunidades de mejora, que podrían cubrir materiales, tiempo productivo perdido, eficiencia, calidad y costos. Una actividad DILO ejecutada por uno de los autores, mostró que un tercio del día del jefe de terreno fue solo lidiar con re-trabajos.

3.4.2.4.2 Estudios de Primera Ejecución/Observación Directa de Trabajos.

Un Estudio de Primera Ejecución es una observación detallada del trabajo para identificar la secuencia de trabajo, contenido de trabajo y la mejor manera de ejecutar una actividad en específico, incluyendo:

- Prácticas de trabajo eficiente.
- La composición del equipo o de la cuadrilla en términos de las habilidades requeridas y el número de miembros.
- Una asignación balanceada de trabajo entre los miembros del equipo o cuadrilla.
- Una organización de trabajo 5S, incluyendo la ubicación de los materiales, herramientas, equipamiento e instalaciones.

Los estudios de primera ejecución pueden realizarse en varios puntos de una programación:

- Antes de cada actividad que será ejecutada. Para partidas que han sido identificadas en la ruta crítica del programa del proyecto y/o aquellos que son considerados a ser complejos por naturaleza. Esta forma de pre-estudio puede ser realizado en una maqueta del trabajo a realizar.
- Al comienzo de una partida que será ejecutada en sitio. Particularmente útil para partidas que serán altamente repetitivas a lo largo del proyecto.
- En respuesta a un problema y/o una caída de rendimiento esperado.
- Donde los porcentajes necesitan ser mejorados para ayudar a disminuir las pérdidas del programa.

El trabajo puede ser observado directamente y/o una videocámara puede ser usada para grabar las partidas para permitir un análisis subsecuente por los miembros del equipo multidisciplinario. Esta observación se poder realizar con una carta de flujo de proceso.

Ilustración 7: "Ejemplo de Carta de Flujo de Proceso".

CARTA DE PROCESO											
UBICACIÓN:			RESUMEN								
ACTIVIDAD:			Actividad	Actual			Propuesto			Ahorros	
FECHA:				Cant.	tiempo	distancia	Cant.	tiempo	distancia	Cant.	tiempo
ELABORADO POR:			Operación								
DIAGRAMA EMPIEZA EN: _____			Transporte								
DIAGRAMA TERMINA EN: _____			Demora								
			Inspección								
			Almacenaje								
METODO: DIBUJO No:			Totales								
HOJA DE			Costo								
Unidad de distancia (pies)	Unidad de tiempo (seg.)	SIMBOLO				DESCRIPCIÓN DEL PROCESO					
		○ → D □ ▽									
		○ → D □ ▽									
		○ → D □ ▽									
		○ → D □ ▽									
		○ → D □ ▽									
		○ → D □ ▽									

Fuente: <http://diagramascartasdep.wixsite.com/diagramasycartas/continuacin-carta-proceso>

La implementación de estas herramientas entrega los siguientes beneficios:

1. Mejora la productividad y la calidad de “hacerlo bien a la primera”.
2. Crea un entendimiento detallado del contenido, métodos y duración de las partidas del trabajo.
3. Revela las oportunidades de mejora para prácticas de trabajo actuales.
4. Mejorar el balance de las actividades entre los miembros de la cuadrilla.

5. Crea tiempos reales de trabajo que benefician el desarrollo del programa.
6. Identifica oportunidades para pre-fabricación para ayudar la productividad in-situ.
7. Provee información detallada para ayudar a desarrollar las mejores prácticas estándares actuales para apoyar la productividad y reducir la variabilidad en métodos y rendimientos.
8. Creación de operaciones estándar con aquellas personas que ejecutan el trabajo ayudando el desarrollo de pertenencia para la identificación del mejor método actual y apoyar la mejora continua.

Estas herramientas, según Richard O'Connor, son importantes puesto que DILO es una herramienta de Diagnostico, lo cual permite determinar cuál es el problema que afecta al rendimiento de la partida. A su vez, la Observación Directa del Trabajo es una herramienta de mejora, lo cual permite aumentar el rendimiento de la partida afectada. Ambas herramientas son complementarias, puesto que una identifica y la otra soluciona.

Al mismo tiempo, estas herramientas cumplen con los principios de Koskela, tales como "Transparencia del Proceso", "Mejora Continua" y "Reducción de Variabilidad del Proceso", principalmente.

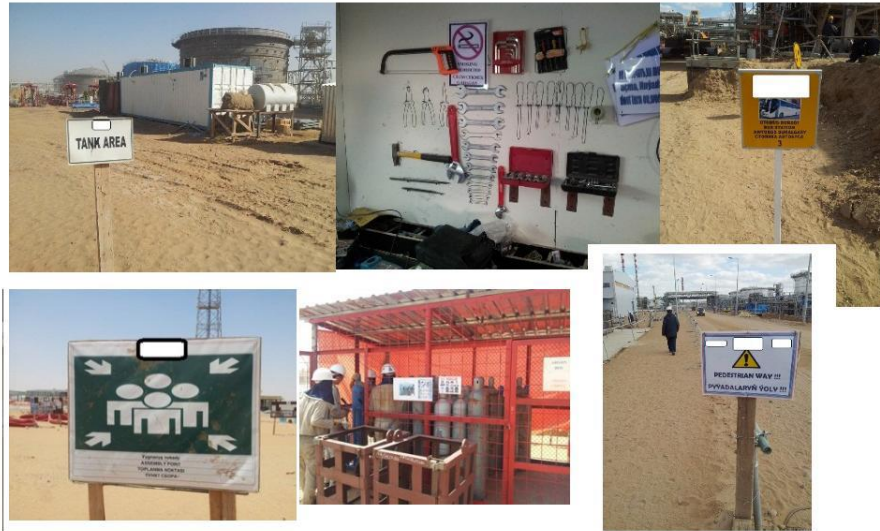
3.4.2.5 Gestión Visual

En un ambiente de trabajo Lean, tiene que ser fácil de entender cuál es la situación de trabajo en términos de actualidad versus la planificación. Las herramientas y técnicas que ayudan a la comunicación dentro del proyecto, se muestran en forma visual, porque como dice el dicho “Una imagen vale más que mil palabras”. Una buena gestión visual permite comunicar un mensaje o una instrucción con mayor velocidad y fácil de entender.

Algunos ejemplos de gestión visual son pantallas visuales, carta Gantt a la vista de todo el personal, la planificación con post-its, seguimiento a la obra, porcentaje de partidas completas con miembros de una cuadrilla cuadrillas, indicadores de peligro, etc.

- Estandarizar sitios de trabajo: Demarcación de ciertas áreas del proyecto en el cual muestran que son lugares de acopio, lugar de descanso, lugares de limpieza de moldajes, oficinas, etc.

Ilustración 8: "Visual Management" Zonas de trabajo



Fuente: Recomendaciones para extender y sostener practicas Lean, tesis U. de Chile. 2015

- Seguridad: Demarcaciones en el piso para resaltar el camino seguro y la ubicación de herramientas, materiales y plantas. Esto se realiza con el fin de asegurar el trabajo eficiente y seguro.

Ilustración 9: "Visual Managament" Seguridad



Fuente: Recomendaciones para extender y sostener practicas Lean, tesis U. de Chile. 2015

- Transparentar información: Dar a conocer la programación para las próximas semanas (lookahead), sitios del proyecto en donde se realiza el movimiento de materiales, logística y almacenamiento, gráficos con el rendimiento de cada cuadrilla (PPC), estructuración de resolución de problemas, el trabajo que debe ser completado en un determinado plazo, entre otros.



Ilustración 10: "Visual Management" Transparencia

Fuente: Recomendaciones para extender y sostener practicas Lean, tesis U. de Chile. 2015

Una buena gestión visual permite un alto desarrollo consistente a través de procesos de comunicación eficientes. Permite ver y entender el plan de trabajo, los niveles y los hitos del plan, los problemas del plan y como solucionarlo.

La gestión visual logra cumplir con uno de los once principios de Koskela, que es la Transparencia del Proceso. Pero no es solo del proceso, si no que del proyecto, porque todos los involucrados al proyecto, con solo observar la planificación pueden determinar si van adelantados o atrasados; con solo observar el lugar del proyecto sabrán si el lugar es seguro para el tránsito o existe peligro; los trabajadores solo con mirar los rendimientos de cuadrilla pueden determinar si están trabajando por sobre o debajo de lo comprometido, y así un gran abanico de posibilidades.

3.4.2.6 Mapeo de Valor (VSM)

El Value Stream Mapping es una técnica Lean que se usa para analizar y diseñar los flujos de material y de información requeridos para entregar un producto, servicio o proyecto al consumidor. Se puede aplicar a casi cualquier flujo de valor.

A través de la esquematización de las operaciones de la empresa, se trata de determinar los puntos de desperdicios presentes en el flujo. Mediante el mismo, se entrega una representación de cómo podría ser la solución y evitar los desperdicios.

Realizar estos flujos puede tomar bastante tiempo y esfuerzo. Generalmente, no se utiliza esta herramienta en un proyecto de construcción único en su tipo, pero se utilizaría en el representar el flujo del proceso, información y materiales para proyectos de alto valor y en las partidas de construcción que se repiten de un proyecto a otro.

En el VSM se debe identificar:

- Identificar el proceso cuello de botella.
- Identificar el donde se desperdician productos.
- Identificar el donde se desperdician recursos (tanto hombres como maquinas) y definir inventarios Max y min., identificar la causa de estas existencias.
- Identificar las soluciones adecuadas para eliminarlos.
- Identificar cual flujo empujado debería ser jalado y en consecuencia y a cuales les falta el respeto por el FIFO.



Lean
Solutions

VSM ACTUAL

VSM ACTUAL: Fecha: 02/02/2014 / Fabricación de partes metálicas

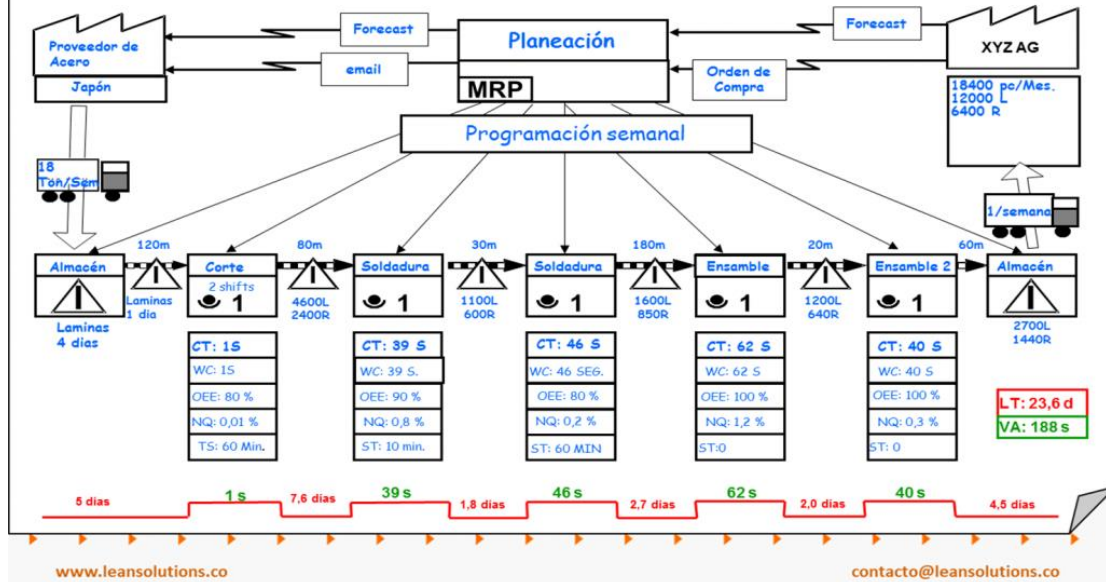


Ilustración 111: "Ejemplo de VSM, actual".

Fuente: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>

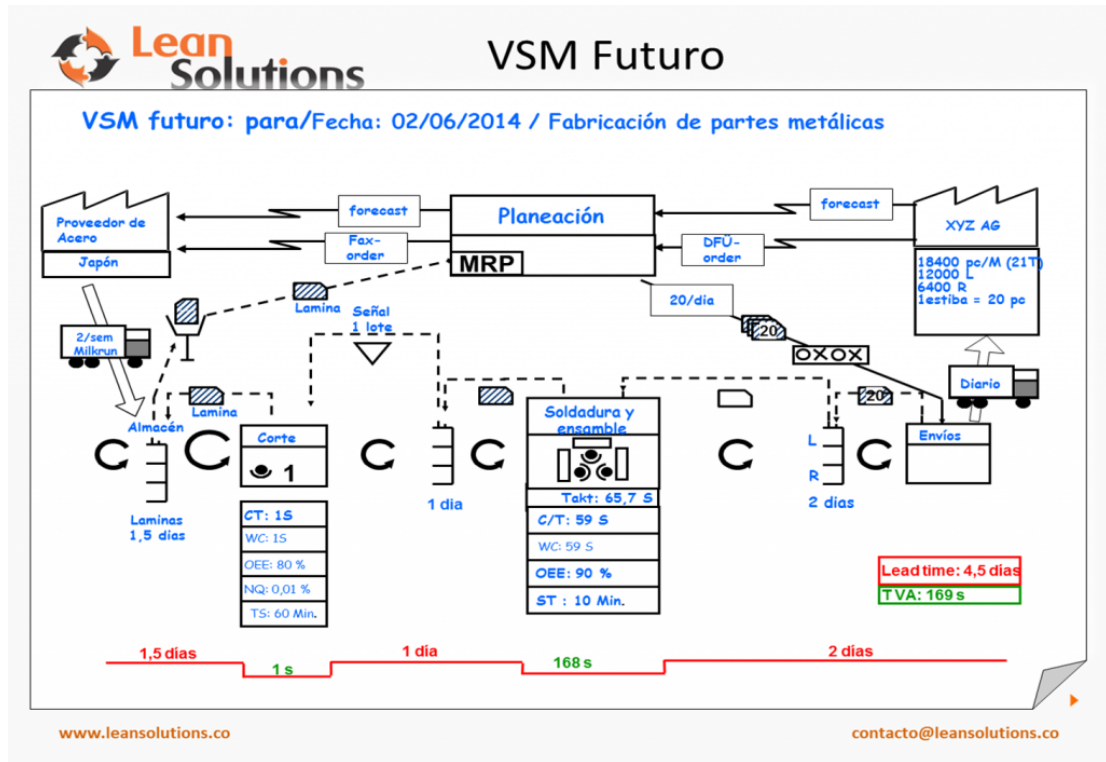


Ilustración 122: "Ejemplo de VSM, futuro".

Fuente: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>

En el paper de Richard O'Connor (O'Connor & Swain, 2013) entrega algunos consejos para la implementación de esta herramienta:

- Cuando se está creando el flujo de la situación actual, tratar de mapear el proceso como actualmente funciona, no como uno cree que debería funcionar. Es muy importante capturar lo que realmente está sucediendo.
- Es de mucha ayuda mencionar a las personas involucradas en el mapeo de la actividad que es el proceso y no la persona que se va a mapear.

- Apuntar a cuantificar los problemas identificados y los desperdicios en términos de frecuencia de ocurrencia, la magnitud, el costo, etc. Esta información ayudará cuando se desarrolle un plan de mejora priorizado.
- Cuando sea posible, llevar a cabo algunos pre-mapeos preparatorios para reunir información sobre el proceso a mapear (como datos de rendimiento en el tiempo de proceso, calidad y costos). Si la información no se obtiene fácilmente, buscar implementar procesos de recopilación de datos.

Los beneficios de la implementación de la mejora de procesos mediante VSM son los siguientes:

1. Entrega una visión clara de la mejor manera de llevar a cabo el proyecto.
2. Mejora la previsibilidad y la productividad a través de todo el proceso.
3. Clarifica el proceso, los roles y las responsabilidades.
4. Mejora el valor del dinero y reduce los costos de entrega.
5. Reduce en gran medida los niveles de desperdicio de tiempo y de esfuerzo.
6. Reduce el tiempo de ciclo.

El mapeo de los procesos en un proyecto de construcción es altamente beneficioso, y además, se basa en los principios de Koskela, como “Maximizar el valor del Producto”, “Reducir la Variabilidad”, “Minimizar el Desperdicio” y “Reducir el Tiempo de Ciclo”.

4 Recomendaciones

- Emplear LPDS: Es una de los mejores métodos para aplicar la filosofía Lean. Entrega todas las herramientas para maximizar el valor y reducir las pérdidas y la variabilidad.
- Componer un equipo multidisciplinario de los principales involucrados: Mandante, Arquitecto, Contratista, Trabajadores, Proveedores, Subcontratistas y algún miembro de la Dirección de Obras Municipales.
- Se debe tener un Gerente de Proyecto que sea externo al equipo multidisciplinario y que no debe ser el Mandante.
- Se debe emplear LPS en todo el ciclo de vida del proyecto (LPDS).
- Realizar capacitación constante a los capataces, supervisores y principales trabajadores en los principios y empleo de herramientas Lean.
- Hay que empoderar a los capataces, supervisores, jornales y subcontratistas a que puedan dar soluciones y sus opiniones respecto al proceso de trabajo.
- Se debe tener un control de los motivos que impidieron cumplir con las partidas planificadas, de modo de aprender de los errores y tener una mejora constante.
- Se debe tener a un miembro del equipo proyectista en terreno, esto con el fin de solucionar los problemas y aclaraciones al instante, que son los problemas más frecuentes en una construcción.

5 Conclusiones

Está muy claro que no existe una guía paso a paso que transforme una empresa constructora normal a una empresa Lean Construction. Pero lo que sí está claro es que la tecnología con filosofía pero sin cultura no es Lean Construction. Lo anterior significa que por mucho que una empresa constructora este utilizando las herramientas lean y sus tecnologías, no será considerado Lean si no tiene una cultura Lean. Tener cultura Lean es emplear 5S cada cierto tiempo, tener una estructura para la resolución de problemas, tener un flujo constate y fluido de materiales e información, que los que están aguas abajo se involucren con el proceso del proyecto, capacitar a los capataces y a los supervisores de obra, tener una gestión visual en toda la obra, etc.

Además, se debe realizar este cambio “de forma de hacer las cosas” desde la gerencia. Si la gerencia está determinada a emplear Lean, los beneficios se verán en el largo plazo.

Lean Construction es una gran herramienta de gestión para la construcción, el problema es que siempre habrá oposición al cambio, aunque existan un sin número de ejemplos y estudios que demuestren que la aplicación de Lean Construction es beneficiosa, tanto para la empresa como para el cliente.

Si bien existen una amplia gama de herramientas Lean, los más “básicos” para que una empresa constructora comience en su transformación lean es emplear LPDS con cultura Lean. Esto significa que deben tener un equipo multidisciplinario, compuesto por todos los principales involucrados –Los mismos que se indicaron en la tabla pero omitiendo a los vecinos, que se les preguntará por diseño u otras cosas

extraordinarias-, capacitados en la filosofía Lean, con conocimientos de Last Planner System, que se comprometan a emplear LPS y con utilización de Gestión Visual, 5S y A3 para tener una solución de problemas estructurado.

Muchos de los problemas que existen en la práctica del LPS es precisamente lo anterior. Al no existir un compromiso en el uso de LPS, no llegan los materiales, lo cual atrasa la compleción de la partida asignada y atrasa la obra. A su vez, otro de los grandes problemas al aplicar este sistema, es que existe muchos tiempos muertos es por la falta de especificaciones, aclaraciones y actualización de planos que llegan tarde. Ante esto, debe existir un compromiso de los proyectistas a no cambiar lo planos, por muy poco que sea.

En una segunda instancia, es preferible agregar estas dos herramientas a las anteriores nombradas desde el comienzo; VSM y Target Costing. Empleando estas herramientas se mejorará el flujo actual, maximizará el valor del cliente y se detectará donde existen desperdicios.

Si bien esta investigación es de carácter teórico, no solo abre las puertas para una futura investigación de validación de estas hipótesis, sino que también abre las puertas a un nuevo sistema de gestión relativamente poco conocido y urge la necesidad de actualizar los métodos empleados.

Finalmente -y parafraseando a Lauri Koskela en su tesis de doctorado-, esto todavía sigue tibio en la actualidad de Chile. Se realizan congresos y seminarios para dar a conocer este sistema, pero aun así la oposición al cambio es más fuerte y se sigue realizando de la misma forma artesanal.

6 Bibliografía

- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). The Lean Toolbox: The essential guide to Lean Transformation. En J. Bicheno, & M. Holweg, *The Lean Toolbox: The essential guide to Lean Transformation* (cuarta ed., págs. 12-13). Buckingham, Inglaterra: PICSIE Books.
- Botero, L., & Álvarez, M. (2013). Identificación de pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 130.
- Capasso, C. M. (2010). *El costeo Objetivo*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Galsworth, G. (1997). *Visual Systems: Harnessing the Power Of a Visual Workplace*. Nueva York: AmaCom.
- Gonzalez Álcántara, D. (2013). Aplicación de Herramientas Lean en la Gestión de Proyectos de Edificación. En D. Gonzalez Álcántara, *Aplicación de Herramientas Lean en la Gestión de Proyectos de Edificación*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Granados Orellanos, B. M. (2011). *Implementación de la Metodología Lean Construction para actividades de estructura del proyecto Natura del Consorcio Campo Empresaria Campestre*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Gregory, H. (1999). What is Lean Construction.
- Grief, M. (1991). *The Visual Factory*. Portland, OR: Productivity.
- Guzmán Tejada, A. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos*. Lima: Universidad Católica del Perú.
- Hirano, H. (1995). *5 pillars of the Visual Workplace*. Productivity.
- home, P. (s.f.). *PDCA home*. Obtenido de Diagrama de Ishikawa: Análisis causa-efecto de los problemas: <http://www.pdcahome.com/diagrama-de-ishikawa-2/>
- Jimenez, D. (1 de diciembre de 2013). *Pymes y Calidad 2.0*. Obtenido de El reporte A3 de Toyota - Un práctico para resolver no conformidades: <http://www.pymesycalidad20.com/el-reporte-a3-de-toyota.html>
- Kingston, K. (2002). *Clear your Clutter with Feng Shui*. Piatkus.
- Koskela, L. (1992). *Aplicaciones de la Nueva Filosofía de Producción a la Construcción*. Stanfor: Stanfor University.
- Koskela, L. (s.f.). Fundamentos de Lean Construction. *ResearchGate*.

- Koskela, L., Ballard, G., Howell, G., & Tommelein, I. (2016). *The foundations of lean construction*. ResearchGate.
- Lean, A. o. (11 de Octubre de 2013). *Art of Lean*. Obtenido de Art of lean Sitio Web: http://www.artoflean.com/files/Basic_TPS_Handbook_v1.pdf
- Liker, J. (2013). *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante* (2da ed.). Barcelona: gestión 2000.
- Lopez Maturana, E. (2008). *Gestión de Proyectos de Canales Hidráulicos con el método de Lean Construction*.
- M, S. (28 de Agosto de 2013). *Herramienta A3 como solucionador de problemas*. Obtenido de Manufactura Esbelta / Lean Manufacturing Colombia: http://gioleanblog.blogspot.cl/2012/08/manufacturaesbelta_28.html
- O'Connor, R., & Swain, B. (2013). *Implementing Lean in Construction: Lean tools and Techniques- an introduction*. 32-38.
- Olguín Lorca, R. H. (2011). *Estudio de impacto por la implementación de un modelo 4D y last planner en obra*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/104018>
- Peres, Á. (2010). *Detección de pérdidas operacionales en la construcción de edificios de oficina de más de 30.000m2*. 3.
- Pérez Uribe, Á. P. (2010). *Detección de Pérdidas Operacionales en la Construcción de Edificios de Oficinas de más de 30.000 m2 con Plantas Libres. Análisis Aplicado a Montajes de Fachadas de Muro Cortina*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103962>
- Pons Achell, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. En J. F. Pons Achell, & F. L. Construcción (Ed.), *Introducción a Lean Construction* (pág. 22). Madrid: Fundación Laboral de la Construcción.
- Porras, H., Sanchez, O., & Galvis, J. (2014). *Filosofía Lean Construction para la Gestión de proyectos de constucción: Una revisión actual*. En H. Porras, O. Sanchez, & J. Galvis, *Filosofía Lean Construction para la Gestión de proyectos de constucción: Una revisión actual* (Vol. 11). AVANCES Investigacion en Ingeniería.
- Sánchez, D. M. (13 de Febrero de 2017). *TECNOLOGÍAS BIM Y LEAN CONSTRUCTION*. Obtenido de LeanPeru: <http://www.leanperu.com.pe/index.php/biblioteca/publicaciones/130-tecnologias-bim-y-lean-construction>

Solutions, L. (s.f.). *Lean Solutions*. Obtenido de Lean Solutions Sitio Web:
<http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>

Team, P. P. (2002). *5S for operators*. Productivity.

Tutoriales, G. (31 de diciembre de 2014). *Gestión de Operaciones*. Obtenido de Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto:
<http://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>

Vasquez Ayala, J. C. (2006). *El "Lean Design" y su aplicación a los proyectos de edificación*. Lima, Peru: Universidad Catolica del Perú.

7 Referencia Digital

<http://www.iglc.net> "Internationa Group for Lean Construction sitio web"

<https://www.leanconstruction.org/> "Lean Construction Institute sitio web"