

MODELO DE MADUREZ DE LEAN CONSTRUCTION

Pregrado en Ingeniería Civil

Asesora: Laura Gutierrez Bucheli

Co-Asesor: Ph. D. José Luis Ponz Tienda

Natalia Yussely Sanabria Vargas

12 de Diciembre de 2016

Resumen

A pesar que Lean Construction se ha convertido en una filosofía ideal en el área de la construcción, su implementación no ha sido un proceso fácil. Por esta razón, existen casos donde las empresas de construcción prefieren continuar con sus antiguos hábitos antes de generar confusión tras el cambio en procesos que ya están estandarizados. Este es el caso de muchas empresas colombianas, puesto que el proceso de adaptación requiere mucho tiempo y dedicación. Así, este trabajo pretende promover el desarrollo de un modelo de madurez de Lean Construction para facilitar la inclusión de esta filosofía en compañías constructoras centradas en lineamientos antiguos y no muy beneficiosos. De esta forma, se plantea la creación de un modelo a partir de la inclusión de principios y herramientas Lean Construction a lo largo de procesos presentes en las cadenas asociadas al desarrollo de proyectos de construcción.

Abstract

Although Lean Construction has become an ideal philosophy in the field of construction, its implementation has not been easy. For this reason, there are cases where construction companies prefer to continue with their old habits before generating confusion by the inclusion of changes in standardized processes. This is the case of many Colombian companies because the process of adaptation requires a lot of time and dedication. Thus, this paper proposes the development of a Lean Construction maturity model to facilitate the inclusion of this philosophy in construction companies focused on old and not beneficial guidelines. In this way, the proposal is the creation of a model from the inclusion of Lean Construction principles and tools, all over the processes involved in the chains associated with the development of construction projects.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
2	ESTADO DEL ARTE	5
2.1	LEAN MANAGEMENT	6
2.1.1	<i>Lean Thinking de Womack</i>	6
2.1.2	<i>Mentalidad Kaizen</i>	7
2.1.3	<i>Plan-Do-Check-Act (PDCA)</i>	8
2.1.4	<i>Las 3 M's</i>	8
2.1.4.1	Muda	8
2.1.4.2	Mura	9
2.1.4.3	Muri	9
2.1.5	<i>Making - Do</i>	9
2.1.6	<i>Gemba</i>	10
2.1.7	<i>Hoshin</i>	10
2.1.8	<i>Genchi Genbutsu</i>	10
2.1.9	<i>Conceptos Adicionales de Lean</i>	11
2.2	LEAN CONSTRUCTION	14
2.2.1	<i>Principios de Koskela</i>	15
2.2.2	<i>Last Planner System (LPS)</i>	16
2.2.3	<i>Performance-Based Design (PBD)</i>	18
2.2.4	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	19
2.2.5	<i>Virtual Design and Construction (VDC)</i>	20
2.2.6	<i>Integrate Project Delivery (IPD)</i>	20
2.2.7	<i>Target Value Design (TVD)</i>	21
2.3	LEAN CONSTRUCTION EN COLOMBIA	22
3	MODELO DE MADUREZ	22
4	DISEÑO DEL MODELO	23
4.1	ALCANCE	23
4.2	DISEÑO	23
4.3	POBLAR	24
4.3.1	<i>Primera Iteración</i>	24
4.3.2	<i>Segunda Iteración</i>	27
4.4	ENSAYAR	27
4.5	DESPLGAR	27
4.6	MANTENER	28
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
6	ANEXOS	29
7	BIBLIOGRAFÍA	33

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Beneficios IPD (Tomado de: Mossman, 2008)</i>	21
<i>Tabla 2. Primera Iteración Delphi</i>	25
<i>Tabla 3. Primera Iteración Delphi Actualizada</i>	26
<i>Tabla 4. Resumen Modelos de Madurez Existentes</i>	30

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Análisis Bibliográfico</i>	4
<i>Ilustración 2. Productividad en el sector de la construcción vs sectores industriales (Tomado de: Nesensohn, 2014)</i>	5
<i>Ilustración 4. WBS (Tomado de: workbreakdownstructure.com, s.f.)</i>	17
<i>Ilustración 6. Beneficios del PBD (Tomado: Sands, 2010)</i>	19
<i>Ilustración 7. Esfuerzo de diseño vs Costo (Tomado de: Mossman, 2008)</i>	21
<i>Ilustración 6. Diagrama de Ishikawa (Tomado de: Cause-and-Effect Diagram Ishikawa Diagram, 2010)</i>	29
<i>Ilustración 7. Simbología Value Stream Mapping</i>	29
<i>Ilustración 8. Funcionamiento X-Matrix</i>	30

1 Introducción

Lean es un concepto que se ha expandido en la última década a lo largo del mundo. Esta expansión se consiguió debido a la admiración de diversas entidades por los métodos utilizados en Japón, por la empresa automotriz Toyota. Con el tiempo se expandió el dominio de la filosofía Lean y las entidades que comenzaron a implementarla no eran exclusivamente empresas automotrices. Por esta razón, el concepto de Lean cruzó fronteras tanto geográficas como temáticas, y hoy en día es conocido globalmente.

Posteriormente, se inició la adaptación de esta filosofía a campos de trabajo específicos como ocurrió en el área de la construcción. De esta manera, surgió lo que hoy en día se conoce como Lean Construction. Debido al grado de especialización que se maneja en Lean Construction, las fuentes bibliográficas son pocas en comparación con toda la teoría presente de Lean. La Ilustración 1 permite evidenciar el crecimiento de las fuentes bibliográficas en la última década y la diferencia de bibliografía existente entre el concepto Lean y Lean Construction.

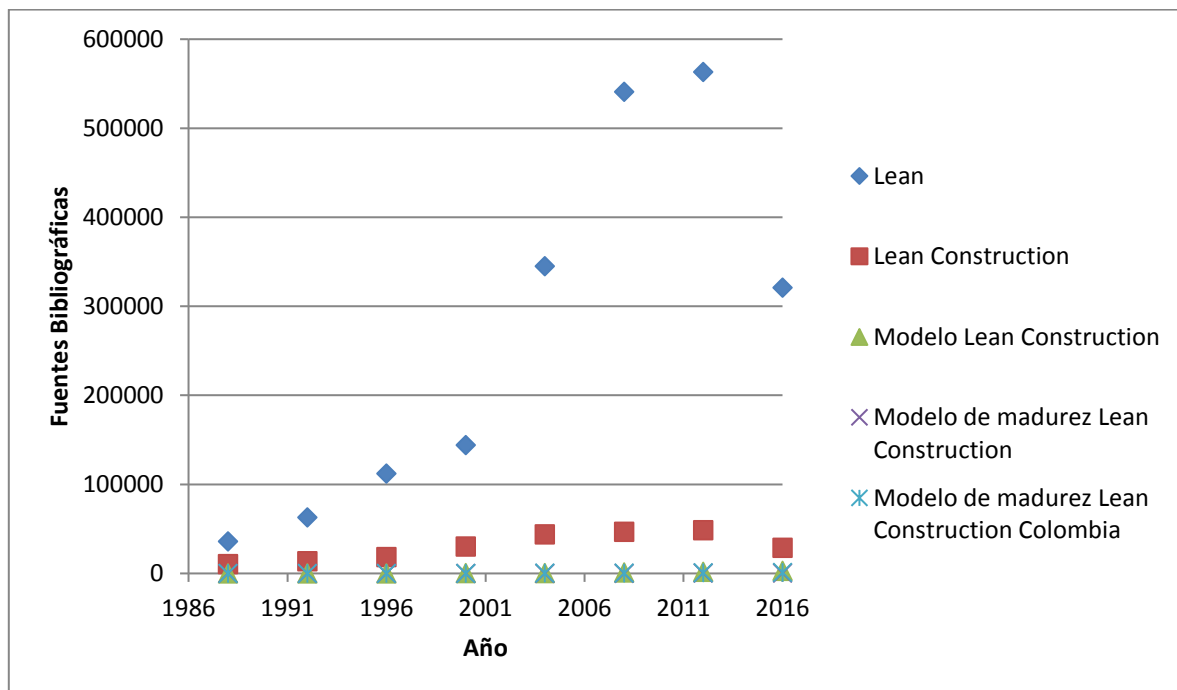


Ilustración 1. Análisis Bibliográfico

Debido a los resultados del análisis bibliográfico y de la bibliografía encontrada para el entendimiento de Lean Construction, se decidió iniciar con una revisión bibliográfica de los conceptos fundamentales de Lean y de Lean Construction que permita dar a conocer con un alto grado de detalle, las principales características y herramientas que ofrece Lean.

Después de clarificar los conceptos, principios y herramientas Lean, se inició otra búsqueda bibliográfica centrada en modelos de madurez capaces de cuantificar la evolución de la implementación de Lean Construction en empresas del sector. Para esto, se eligieron 6 modelos en el sector que sirvieron de base para ejecutar un modelo con un enfoque diferente. Como se puede

observar, en la Ilustración 1 la bibliografía existente de modelos enfocados en el tema de Lean Construction son contados, razón por la cual se decide proponer el desarrollo de un modelo con esta orientación.

Ahora bien dentro de los 6 modelos analizados, dos se centran en la filosofía Lean y uno solo en Lean Construction. El modelo centrado en Lean Construction señala características muy generales de la misma, de manera que busca tras su aplicación alcanzar una cultura Lean. Sin embargo, no se enfoca en el procedimiento para alcanzarlo, es decir, deja de lado la aplicación de principios y herramientas Lean Construction como base para llegar a una construcción sin desperdicios.

Por esta razón, el objetivo del modelo a proponer será tras la inclusión de herramientas y principios Lean, lograr una inserción de la cultura Lean Construction en todos los procesos de un proyecto de construcción.

2 Estado del Arte

Con el tiempo, se ha evidenciado en el sector de la construcción la falta de productividad en sus obras a comparación de otros sectores industriales, como se muestra en la Ilustración 2. Este es un problema de carácter global por lo que en distintos países y específicamente en grandes proyectos, se han realizado numerosos estudios que caracterizan el origen y las causas de dichos retrasos.

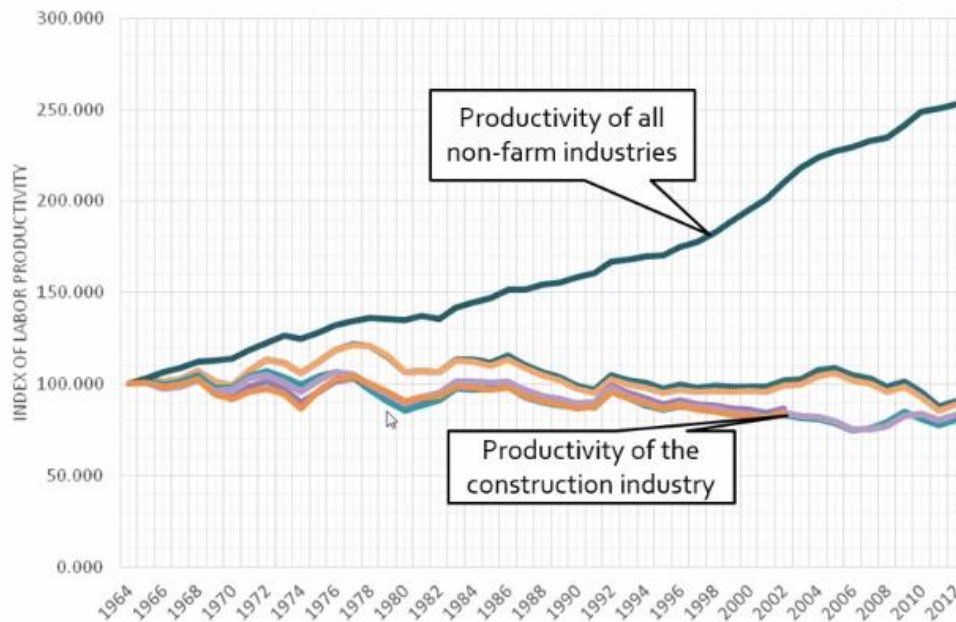


Ilustración 2. Productividad en el sector de la construcción vs sectores industriales [1]

Un estudio realizado por *Shamas-Ur-Rehman Toor & Stephen O. Ogunlana* con el fin de conocer los problemas causantes de los retrasos en los proyectos de construcción en Tailandia, presenta una recopilación de estudios previos en 10 países (Europa, África, Asia y Oceanía). Tras el estudio, se dan a conocer 10 categorías que permiten clasificar los inconvenientes que culminan en retrasos. Dichas categorías son problemas relacionados con: el cliente, el diseñador, la gestión del proyecto

(asesores), los contratistas, los empleados, las finanzas, los contratos, la comunicación, el ambiente y terreno, y por último, factores aleatorios [2, p. 399]. El estudio permitió obtener estadísticas, las cuales indican que los problemas que más se presentan en obra están asociados a la gestión del proyecto y al medio ambiente. De esta manera, es posible afirmar que a lo largo de todo el proceso constructivo se encuentran fallas que concluyen en retrasos de la obra. Sin embargo al progresar en el sector de gestión, las mejoras obtenidas para el proyecto en general serán significativas. Por esta razón, es necesario buscar herramientas que incentiven una mejora en la gestión de proyectos constructivos y así reducir la incertidumbre del mismo.

Para reducir desperdicios y costos, se comenzó a desmenuzar cada una de las actividades que hacen parte de un proyecto con el fin de disminuir al máximo retardos de cada parte por separado. Sin embargo, se ha evidenciado la importancia de tener en cuenta la dependencia presente entre cada una de las partes, por lo que optimizar cada subproceso resulta ser una alternativa de solución no muy apropiada. Debido a esto, aparece el concepto de Lean Construction.

2.1 Lean Management

El concepto Lean fue desarrollado por Toyota, una empresa automotriz. Lean surgió del comité de expertos dedicados a reducir las pérdidas en el proceso de producción de la empresa, de manera que se logró un desarrollo importante en el ámbito de gestión de producción [3, p. 4]. A partir de este momento, el desarrollo de Lean Production evolucionó hasta llegar a proponer las ideas y prácticas que promueven actualmente. El concepto de empresa Lean fomenta diversos principios y herramientas con el ánimo de impulsar mejoras en los sistemas de producción de la misma.

Para el propósito de este trabajo es indispensable conocer los conceptos fundamentales de Lean, conceptos que promueven su cultura y filosofía. Adicionalmente, se describirán las herramientas más importantes que ponen en práctica el pensamiento Lean.

2.1.1 Lean Thinking de Womack

Los 5 principios que propone Womack están dirigidos a reconocer y fortalecer la fracción de tiempo y esfuerzo que SI genera valor en la cadena de producción [4]. A continuación se señalan dichos principios.

1. Especificar que es valor para el cliente
2. Entender la cadena de valor
3. Mejorar el flujo en la cadena
4. Metodología Pull
5. Buscar la perfección

Womack señala la importancia de identificar de manera cautelosa las actividades que agregan valor puesto que se dice que hasta un 95% de las actividades, no agregan valor [4]. Posteriormente, se debe comprender el funcionamiento de la cadena de valor y operar la totalidad de las actividades de la manera más eficiente posible, en otras palabras, dedicar el mayor esfuerzo en las actividades que hacen parte de esta cadena [5]. Ahora, es indispensable evitar interrupciones en el flujo de la cadena de valor por lo que también, se deben destinar esfuerzos para eliminar cualquier tipo de

obstáculos y cuello de botella en el flujo de valor [4]. En cuanto a la metodología Pull, se hace lo posible por adaptarse a los requerimientos del cliente mas no de empujar al cliente a que se interese por el producto o servicio ofrecido. Finalmente, Womack señala que se debe aplicar la mejora continua para seguir promoviendo eficacia en los procesos y reducción en los costos.

2.1.2 Mentalidad Kaizen

Como se mencionó anteriormente, el concepto de Lean surge en empresas japonesas que traducen en teoría las prácticas asociadas a su alta competitividad en el mercado. Se asegura que “la esencia de todas las prácticas administrativas japonesas [...], se definen utilizando un solo concepto, el *Kaizen*” [6, p. 18]. Es por esta razón que la mentalidad *Kaizen* es de gran relevancia a la hora de entender el funcionamiento de Lean.

Para comenzar, el término *Kaizen* proviene de la lengua japonesa cuyas raíces indican cambio (*kai*) para mejorar (*zen*) [7]. En otras palabras, el concepto hace referencia al mejoramiento continuo que debe presentarse en la totalidad de las prácticas de una entidad [8]. Las mejoras propuestas por *Kaizen* no se caracterizan por ser cambios drásticos y de gran exigencia para ser llevados a cabo, al contrario, Gutierrez et al. señalan que las mejoras adquiridas debido al *Kaizen* son pequeñas e incrementales por lo que a través del tiempo, generan mejoras dramáticas y significativas. Por esta razón, es acertado declarar el *Kaizen* como un enfoque de bajo riesgo ya que se logra retroceder o revertir un cambio fácilmente en caso de que este no sea un cambio positivo [8].

Ahora bien, la mentalidad *Kaizen* está compuesta por tres procedimientos básicos que promueven la mejora continua.

- *Housekeeping*
- Eliminación del desperdicio
- Estandarización

Housekeeping hace referencia a la autodisciplina alcanzada por los empleados. Dicha autodisciplina debe ser adquirida y practicada por la totalidad de los funcionarios para lograr suministrarle al cliente productos de buena calidad y un servicio excelente [9]. La autodisciplina de los empleados se logra mediante la presencia de “una buena gestión gerencial” [9, p. 330] y esto promueve mayor independencia entre los empleados y su superior.

Por otro lado, se menciona la eliminación del desperdicio cuyo fin está ligado a reducir costos y mejorar la productividad. Lo que pretende Lean tras la inclusión de este procedimiento es “identificar y prescindir de todas las actividades que no agregan valor” [9, p. 330] y de esta manera, lograr un mejoramiento en la productividad y una reducción en los costos operacionales. Debido a esto *Kaizen* infunde, en lugar de incrementar la inversión, agregar valor a partir de los recursos ya disfrutados.

En cuando a la estandarización, Adriana Garza sugiere que los estándares son la mejor manera de realizar un trabajo por lo que *Kaizen*, busca conservar ciertos esquemas asociados a la calidad del proceso y evitar la aparición de errores [8].

Teniendo a favor los tres procedimientos descritos, es importante aclarar que factores como el trabajo en equipo, el desarrollo óptimo de las relaciones humanas y la inteligencia colectiva son imprescindibles para transportar a la práctica, y de manera eficaz, la mentalidad *Kaizen*.

2.1.3 Plan-Do-Check-Act (PDCA)

El PDCA es un modelo de cuatro etapas que promueve la mejora continua, uno de los propósitos más importantes de Lean. Dentro de los procesos que más beneficio reciben al aplicar esta herramienta se encuentran: “la gestión del ciclo de vida del producto, gestión de proyectos, gestión de recursos humanos (HRM), gestión de la cadena de suministro (SCM), y muchas otras áreas de negocio” [10]. Las etapas del ciclo se definen a continuación.

Plan: La primera etapa está dirigida a la identificación del problema y su causa raíz.

Do: Con esta información, será posible crear un plan de trabajo con un alcance específico. Después de desarrollar el plan, se implementa la solución propuesta. Vale la pena resaltar la importancia de establecer un criterio de medición para tener un control de las mejoras alcanzadas.

Check: Esta etapa busca hacer comparación sobre los resultados antes y después de incluir la solución en los procesos. Así, lo que se espera es analizar los datos recolectados y concluir sobre la efectividad de la solución planteada.

Act: Esta última fase, documenta los resultados del ciclo, provee información del proceso y ofrece recomendaciones para ejecutar de nuevo el ciclo y seguir obteniendo mejoras ventajosas.

2.1.4 Las 3 M's

Las 3 M's son tres términos asociados a prácticas malgastadoras de recursos que deberían ser eliminadas. Lo que pretenden las 3M's es identificar los desperdicios y sus causas para poder reducirlos al máximo. A continuación, se describen los tres tipos de desperdicios que Lean clasifica.

2.1.4.1 Muda

El término representa las actividades que consumen recursos pero no crean valor para el cliente [11]. Se pueden conocer dos tipos de *muda*, actividades que no crean valor necesarias y actividades que no crean valor innecesarias. Para mayor claridad, el primer tipo de muda se puede ejemplificar mediante la revisión y chequeo de estándares de calidad de un producto. Esta actividad consume tiempo, utiliza recursos humanos y dependiendo del producto, usa maquinaria; sin embargo, dicha revisión no le aporta valor al producto final. Ahora bien, el *muda* tipo dos es una actividad completamente inútil que debería ser eliminada de inmediato. Ohno Taiichi, experto japonés en control de producción clasifica en 8 categorías los desperdicios *muda*.

- Muda de sobreproducción: Se produce más de lo necesario con el fin de evitar la falta de producción debido a la existencia de retrasos, fallas y/o productos defectuosos. “Este tipo de muda es el resultado de adelantarse al programa de producción” [8, p. 12].
- Muda de inventarios: El inventario no crea valor, al contrario, aumentan los costos operativos puesto que ocupan espacio y requieren ser administrados.

- Muda de reparaciones rechazo de productos defectuosos: La interrupción en el proceso de producción genera retrasos y es necesario asumir los costos asociados a la repetición del trabajo. Adicionalmente, dichos productos defectuosos podrían ocasionar daños en la maquinaria, dispositivos o recursos de la empresa.
- Muda de movimiento: El movimiento del personal que no está relacionado con la creación de valor es improductivo.
- Muda de procesamiento: Cuando se ejecutan diseños inadecuados, el trabajo efectuado se pierde.
- Muda de espera: Asociado a detención en la producción debido a “desbalanceos en la línea, falta de parte del recambio o tiempo de no trabajo u operación de las máquinas o supervisión de las máquinas” [8, p. 13].
- Muda de transporte: El movimiento de materiales o productos no agrega valor y además, es propenso ocasionar daños durante el movimiento.
- Muda de tiempo: Utilización ineficiente del tiempo que culmina en un estancamiento [8].

Ahora bien, lo que busca Lean es eliminar la mayor cantidad de *mura* para lograr beneficios en el producto final. Un ejemplo de esto es lograr un diseño óptimo del espacio que permita minimizar el movimiento de los materiales desde la bodega al lugar de uso. De esta manera, logrando reducir el muda mediante pequeños cambios será posible evidenciar un cambio positivo en la producción y reducción en los costos operacionales.

2.1.4.2 Mura

“Cada vez que se interrumpe el flujo normal del trabajo en la tarea de un operador, el flujo de partes y máquinas o el programa de producción” [8, p. 13]. Un claro ejemplo de *mura* es la presencia de un operador menos veloz que el resto puesto que la producción debe adaptarse al ritmo del más lento.

2.1.4.3 Muri

Este concepto alude a condiciones de alto nivel de estrés para los empleados y/o para la maquinaria. Lo anterior, puede ocasionar errores en la fabricación o una producción más lenta debido a la tensión del trabajo [12].

2.1.5 Making - Do

El término Making-Do se conoce como la octava categoría de desperdicios en la filosofía Lean, donde los 7 desperdicios anteriores se describen por medio del concepto del Mura, en el concepto de las 3 M's. Making – Do se “refiere a la situación donde una tarea comienza sin contar con la totalidad de los inputs necesarios” [13]. Los inputs que menciona la cita anterior tienen que ver con materiales, maquinaria, herramientas, personal, condiciones externas, instrucciones, entre otros. Debido a que la actividad se inicia antes de contar con la totalidad de elementos necesarios para llevarla a cabo, surgen inconvenientes transformados en diversos desperdicios. Making – Do es opuesto al concepto de buffer. El buffer es un recurso en almacenamiento que tiene un tiempo de espera para luego ser utilizado, por el contrario, lo que ocurre en el Making – Do es que el tiempo

de espera es negativo [13]. Sin embargo, ambos tipos de desperdicios tienen como fin amortiguar los efectos de la variabilidad en el proceso de producción.

2.1.6 Gemba

Otro concepto importante para Lean es *Gemba*, referente al lugar de trabajo o sitio donde la acción real ocurre [6, p. 15] es decir, lugar donde ocurre la producción o los servicios. Es en este lugar donde el producto o servicio adquiere su valor agregado, donde adquiere sus elementos diferenciadores [8]. Así, el *Gemba* se convierte en un elemento indispensable, de gran cuidado e interés para transmitir al cliente confianza y satisfacción, elementos también presentes en el sitio de trabajo. El *Gemba* consta de dos actividades importantes: el mantenimiento y el *Kaizen*. El mantenimiento puntualiza los estándares ya existentes con el ánimo de salvaguardar el *status quo* mientras que *Kaizen* es el encargado de mejorar dichos estándares.

2.1.7 Hoshin

El término *Hoshin* proviene de las raíces japonesas Ho, que significa método y Shin, que alude a la aguja de una brújula. De esta manera, el concepto hace referencia a “una metodología guía para ajustar la estrategia de dirección hacia un futuro brillante y claro” [14]. *Hoshin* cuenta con 5 principios:

- Analizar el sistema como un todo, lo cual brinda un entendimiento completo acerca del desempeño de la organización.
- Plantear objetivos enfocados en la comunicación y en el negocio, lo que mantendrá enfocados a los trabajadores.
- Entendimiento del ambiente operativo de la compañía
- Priorizar el uso de recursos para lograr una mayor eficiencia.
- Incluir la totalidad de los empleados en el proceso de *Hoshin*. Esto logra un ambiente de negociación dinámico y creativo.

“La construcción de una empresa de aprendizaje debe involucrar tanto a la gerencia como a la fuerza de trabajo, para desarrollar las metas y valores comunes.” [8, p. 14]. Como se menciona en la anterior cita, los principios del *Hoshin* buscan básicamente lograr la inclusión de la totalidad del personal, teniendo en cuenta sus fortalezas y promoviendo la comunicación entre los distintos niveles jerárquicos de la empresa con el fin de obtener mejoras creativas en el proceso del producción de la misma.

2.1.8 Genchi Genbutsu

El término en japonés se traduce en “ve y mira tú mismo”. Lo que busca es analizar el proceso en campo para adquirir la información real y así, conocer lo que está ocurriendo. De esta manera, se buscan promover las buenas prácticas que fueron identificadas y aportar soluciones a los problemas mostrados en campo, mas no a problemas desconocidos expuestos en una oficina [15].

2.1.9 Conceptos Adicionales de Lean

Teniendo en cuenta los procesos requeridos para adoptar la filosofía, Lean ha diseñado herramientas que simplifican su ejecución y guían a los funcionarios a adquirir esta mentalidad y con ello, sus beneficios.

Las herramientas descritas a continuación son ventajosas para la aplicación de los principios Lean pero en especial, son fundamentales para la comprensión y adopción de la mentalidad Kaizen.

Control de calidad total/ Gerencia de calidad total (TQC/TQM): Esta herramienta logra mediante un control estadístico [16] entablar un camino hacia un proceso donde la totalidad del personal se involucra con el fin de ofrecer un proceso con altos estándares de calidad. Dichos estándares garantizan la calidad del producto final y su proceso, por lo que implícitamente están aportando elementos para el buen mantenimiento de la maquinaria y tácitamente promueven las políticas [17] asociadas al mantenimiento productivo total.

Sistema de producción *Just in time*: Como su nombre lo indica, lo que busca es lograr un cumplimiento total de las metas propuestas con el fin de obedecer a los requerimientos del cliente. Para ello, el sistema “se orienta a la eliminación de actividades de todo tipo, que no agregan valor y al logro de un sistema de producción ágil y suficientemente flexible que dé cabida a las fluctuaciones en los pedidos de los clientes” [6, p. 36].

Así, *Just in time* busca el cumplimiento de los siguientes cuatro objetivos para lograr su meta: atacar los problemas fundamentales, eliminar desperdicios, buscar simplicidad y diseñar sistemas para identificar problemas [6]. De esta manera, *Just in time* se encarga de que se produzca justo lo que se requiere, cuando es requerido, sin desperdicios y con la calidad que se merece [18].

Mantenimiento productivo total (MPT): Tiene como fin mejorar el desempeño de la maquinaria y a lo largo de su vida útil [6], de manera que se mejore la calidad y el desempeño en la cadena de producción. Para esto, MPT impulsa mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo [19].

Despliegue de políticas: Esta herramienta tiene como fin promover el desempeño de *Kaizen* [6], motivo por el cual está estrechamente relacionado con el concepto de *Housekeeping* que busca crear autodisciplina en la totalidad del personal involucrado en el proceso.

Sistema de sugerencias: Este sistema está orientado a sembrar un ambiente de confianza entre los trabajadores brindándoles la oportunidad de expresar sus opiniones y de esta manera, establecer un ambiente descentralizado donde cada empleado realice aportes con el único fin de mejorar [6].

Actividad en grupos pequeños: Actividades en grupos informales voluntarios, con el fin de crear un ambiente de taller, más personal donde se busca solucionar problemas de toda índole (problemas de calidad, costos, seguridad y productividad) [6].

7S's: Las 7 S's son 7 componentes distintos cuyas denominaciones en Japonés comienzan en su totalidad por S. Estos componentes tienen como fin promover el uso óptimo del espacio físico de trabajo [20].

A continuación, se listan los 7 componentes con su traducción en inglés y su importancia.

1. *Sort*: Este componente tiene como fin evitar espacios cargados de múltiples objetos, o procesos con múltiples sub-procesos. Para esto, se promueve tener a la mano solo lo necesario. Este componente ha logrado tras la re-organización de tareas, eliminar programas innecesarios o procesos administrativos sobrantes [21].
2. *Set in order*: A parte de contar únicamente con lo necesario, es indispensable ordenar los elementos de una manera apropiada. De esta forma, será posible encontrar una ubicación óptima a cada elemento y así, perfeccionar el trabajo al contar con un acceso rápido a estos.
3. *Shine*: El componente de limpieza presenta la importancia de mantener el orden y limpieza en el lugar de trabajo. De nada sirve, lograr encontrar la ubicación óptima para los elementos en el área de trabajo si tras su uso, se dejarán en el lugar donde se terminaron de usar [21]. La limpieza no se debe llevar a cabo cuando el lugar de trabajo sea un desastre, es una tarea que debe ser ejecutada constantemente.
4. *Standardize*: La estandarización es un componente que básicamente tiene como propósito asegurar el cumplimiento de la totalidad de las S's con el fin de lograr obtener los beneficios especificados tras su inclusión. Esto se logra mediante calendarios, por ejemplo.
5. *Sustain*: Con ayuda de herramientas como el calendario, es de vital importancia que los líderes promuevan las prácticas de las 7S's y se encarguen de mantener la presencia de estas en la empresa.
6. *Spirit*: Este componente se decidió implementar por el valor que tiene el personal para las compañías. Por esta razón, se convirtió vital fomentar una cultura organizacional propia para el excelente desempeño de los empleados lo cual infunde un ambiente cómodo, tranquilo y de respeto para el personal de trabajo.
7. *Safety*: La seguridad es un componente aplicado en la totalidad de las empresas aunque este componente se enfoca mayoritariamente en organizaciones donde los empleados están muy expuestos como en construcciones, laboratorios o fábricas con maquinaria pesada.

Ahora bien, además de las herramientas ya descritas, existen otras herramientas que impulsan la mentalidad Lean y que se basan en diversos de sus principios. Dichas herramientas se describen a continuación.

Diagrama de Ishikawa: El diagrama de Ishikawa es una herramienta que permite desplegar las causas de determinado dilema que está ocasionando problemas en el desarrollo apropiado de la compañía. Para su correcto desarrollo, se propone iniciar planteando una pregunta sobre el porqué del problema. De esta manera, se impulsa una lluvia de ideas que permita identificar diversas posibles causas del problema [22]. Las causas encontradas se categorizan y se ubican en el diagrama. El Anexo 1, muestra un ejemplo del diagrama evidenciando la división por categorías y el desglose de causas en cada una. Este tipo de representación permite visualizar las causas de un problema y así, identificar las raíces de las mismas para poderlas combatir.

5 Whys: Esta herramienta también está enfocada en la identificación de la o las causas de un problema, especialmente a problemas donde el factor humano está involucrado [23]. Es un procedimiento simple que consta en plantearse repetitivamente la pregunta ¿Por qué? Al realizar dicho procedimiento, se logrará llegar a la causa raíz del problema.

Value Stream Map (VSM): El VSM es una representación de los movimientos de material a lo largo de un proceso de producción. Esta representación pretende mostrar el flujo del material desde el proveedor de cierta materia prima hasta la entrega del producto final al cliente. De esta manera, será posible identificar la razón de los retrasos, restricciones y exceso de inventario [19]. A partir de lo anterior, se busca tener en cuenta estas condiciones en el proceso productivo y así mejorar y optimizar el proceso. Value Stream Map tiene como objetivo primordial, “proveer el valor óptimo al cliente por medio de la creación del valor en los procesos y minimizar los desperdicios” [24, p. 3].

Teniendo en cuenta el propósito del mapa, debería participar en su desarrollo la totalidad del personal involucrado en el proceso de producción del producto a analizar [19]. Se sostiene que no es indispensable analizar la totalidad de productos si no la línea de producción más crítica y los aprendizajes de la misma, aplicarlos en procesos similares para productos distintos [19]. Al contar con el razonamiento del producto de interés, se construye el mapa de estado actual del producto a analizar. Con el fin de lograr una transmisión completa de la información requerida en el mapa, VSM cuenta con una amplia simbología que permite la transmisión completa de la información, dicha simbología se muestra en el Anexo 2.

Inicialmente, deben establecerse los límites del proceso de manera que se define el inicio (por ejemplo, recibir material de proveedores) y fin (entrega a cliente) [19]. Posteriormente, se determinan los subprocesos con la información asociada a estos y se realiza la unión con la simbología apropiada. Con el fin de obtener los mejores datos para construir el VSM se sugiere diseñar el mismo en el *gemba*, en el lugar de trabajo [19]. De esta manera, será posible conocer con claridad y sin equivocaciones la ruta del producto analizado.

Cuando el mapa de la situación actual está listo, se prosigue con la creación de una versión futura del mapa. Dicha versión pretende contar con mejoras en el procedimiento, en sus tiempos y sus procesos [19]. De este modo, con las metas planteadas se irían modificando los procesos con el fin de llegar al estado planteado en el VSM ideal, donde los desperdicios identificados fueron eliminados.

X-Matrix: El propósito de la X-Matrix se centra en clarificar los objetivos del proyecto o del nivel estudiado del mismo para enfocarse en el cumplimiento de los mismos. Esta matriz además, admite la identificación de las conexiones entre los objetivos razón por la cual, se clarifica el procedimiento a seguir para cumplir dichos objetivos [25]. El Anexo 3 muestra la composición de la matriz: ¿Cómo?, ¿Cuánto?, ¿Hasta dónde? , ¿Qué? Y ¿Quién? De esta manera, se construye la matriz y posteriormente, se ejecuta el trabajo con base en estas metas.

Informe A3: “El informe A3 es una herramienta de gestión clave que forma parte del sistema de producción de Toyota. Es una herramienta de toma de decisiones y a la vez es el proceso de

resolución de problemas” [17]. El informe se denomina así debido a que la información se recoge en una hoja de tamaño A3 y está conformada por una estructura con una serie de apartados. Los puntos que debe contener un informe A3 son: antecedentes, situación actual, el análisis de las causas, objetivos de mejora, acciones de mejora, plan de acción y seguimiento de los resultados [17]. De este modo, lo que pretende el desarrollo del informe es clarificar las causas raíces de un problema (en caso de que estas no sean muy evidentes) y establecer planes para solucionarlo.

Línea de Balance: La línea de balance es una herramienta gráfica que permite mostrar el trabajo que se ejecuta en un proyecto de construcción en una línea o gráfica [26]. Este tipo de programación se utiliza frecuentemente en proyectos con unidades repetitivas donde se pueda realizar un análisis minucioso del procedimiento de construcción y luego, ejecutar un plan de mejoramiento en las unidades posteriores. Su objetivo se centra en el análisis del “orden lógico, la disposición de los recursos de las actividades anteriores y posteriores y de esta forma establecer un factor multiplicador, identificando los recursos que están quedando ociosos y también donde hace falta de tal forma que se pueda balancear y no tener pérdidas” [26, p. 7].

Kanban: La traducción del término Kanban al español es señal visual. Para la filosofía Lean, Kanban es un sistema de programación que logra eliminar los desperdicios laborales y de inventario. El Kanban fue adaptado para el área de la construcción y se conoce como Last Planner System, herramienta detallada en la sección de Lean Construction.

La filosofía Lean comenzó a ser utilizada por otras industrias y de esta manera, adaptada a otra clase de sectores productivos, tal y como fue propuesto por Bowen y Youngdahl. El sector de la construcción no fue la excepción y a pesar de la dificultad de adaptar una filosofía enfocada en el sector manufacturero a este tipo de empresas, se concluye en la aparición de lo que hoy se conoce como Lean Construction.

2.2 Lean Construction

El término Lean Construction surgió en 1992 tras la primera reunión del Grupo Internacional de Lean Construction. Este grupo tiene como objetivo adaptar el modelo japonés de Lean Production a proyectos del sector constructivo [27, p. 169]. Para ello, fue necesario determinar las principales diferencias entre el proceso de producción y como tal, del producto final de los distintos sectores.

Salem et al. enfatizan que a diferencia de empresas manufactureras, la industria de la construcción tiene un único gran producto final compuesto por sistemas únicos, complejos y dinámicos, por lo que la técnica de la repetición para lograr estandarización y optimización no es válida en esta industria [28]. De la misma manera, indica que el proceso de producción y la entrega del producto final para el ámbito constructivo, es en su totalidad en un mismo lugar; es estático. Así, existe una interdependencia entre cada sub-proyecto generando interacción y solapamiento entre actividades. Por esta razón, en la industria constructora es complicado establecer un cronograma fijo [27, p. 168]. Junto a otras diferencias analizadas, se ha logrado poco a poco pasar de Lean Manufacturing a Lean Construction.

En *Lean Construction: From Theory to Implementation*, los autores describen cuatro principales adaptaciones del sistema de producción [27, p. 170]. La primera de ellas, es el reconocido Last Planner que tiene como objetivo controlar la variabilidad en la cadena de suministros. Lo anterior, hace referencia a que en caso de presentar un retraso en una de las actividades claves del proyecto posiblemente culminará siendo un retraso también para el proyecto general, lo cual debe ser controlado. Adicionalmente, Lean plantea a través del Poka-Yoke la prevención de defectos en la producción con el fin de evitar que los defectos trasciendan a la siguiente etapa de producción. En caso de un proyecto de construcción, Lean propone concentrar sus esfuerzos en la prevención de los defectos puesto que en proyectos de esta índole es complicada la detección del error antes de su instalación. Con el fin de llevar a cabo un trabajo transparente, Lean Construction proyecta las 7 S's para fortalecer la eficiencia de la cadena de actividades. Por último, la mentalidad *Kaizen* asociada al mejoramiento continuo, se mantiene con el fin de trabajar en conjunto para que surjan nuevas ideas con el fin de solucionar problemas comunes en el día a día del proyecto. Para esto, es necesario efectuar constantemente reuniones participativas donde los empleados sean escuchados y se expongan soluciones creativas.

“Lean Construction se enfoca en la reducción del desperdicio, el incremento de valor para el cliente y la mejora continua” [29].

Por otro lado, Lean Construction tiene siempre en mente el entendimiento del proceso constructivo ya que este debe considerar “la dependencia y variación a lo largo de las cadenas de suministro” [3, p. 5]. Lean Construction promueve tecnología específica con el ánimo de establecer cooperación y colaboración entre suministradores y clientes [30, p. 6]. Así, se establece una cultura Lean con técnicas y prácticas asociadas al proceso productivo en el sector constructivo. Howell define cuatro características esenciales de Lean Construction [3, p. 9]:

- Establecer objetivos claros frente al proceso de entrega del proyecto
- Maximizar el rendimiento del proyecto
- Diseño simultáneo de procesos y productos
- Efectuar control de producción

Para alcanzar los beneficios que se establecen tras una adecuada implementación de Lean Construction, se plantean herramientas destinadas exclusivamente a proyectos de construcción. A continuación, se describirán las principales herramientas y principios de Lean Construction.

2.2.1 Principios de Koskela

A continuación se muestran listados los principios propuestos por Koskela.

1. Incrementar el valor del producto con base en los requerimientos de los clientes
2. Reducir o eliminar las actividades que no agregan valor (pérdidas)
3. Reducir la variabilidad
4. Reducir el tiempo de ciclo
5. Simplificar, por medio de la minimización del número de pasos y partes
6. Incrementar la flexibilidad de la producción

7. Incrementar la transparencia del proceso
8. Enfocar el control del proceso completo
9. Mejorar continuamente en el proceso
10. Balancear el mejoramiento de los flujos y las conversiones
11. Referenciar (*Benchmarking*)

Estos 11 principios fueron el abrebocas de lo que hoy se conoce como Lean Construction. En 1992, Koskela publicó dichos principios y desde este punto, las investigaciones y los avances en el tema han aumentado sustancialmente.

Los principios de Koskela guardan estrecha relación con los principios propuestos por Womack. Dicha relación se centra fundamentalmente en la importancia que tienen los deseos del cliente puesto que se tiene presente que al realizar las solicitudes que este requiere será posible recibir un pago mayor. De esta manera, la producción está sometida a las exigencias del cliente [5] mientras se conduce a un proceso con la menor cantidad de despilfarro.

2.2.2 Last Planner System (LPS)

Esta herramienta está diseñada por constructores para constructores [31] con el fin de incorporarse en la filosofía Lean. Sin embargo, ciertos expertos mencionan que tras incluir LPS en un proyecto, este ya puede ser considerado un proyecto Lean.

En primera instancia, el LPS propone identificar una estrategia dedicada a la toma de decisiones de último momento. Para ello, se establece la necesidad de ejecutar la toma de decisión entre “la totalidad de personas que participan en el proyecto” [30]. Lo anterior con el fin de evitar tomar una decisión apresurada que impacte negativamente a otras áreas del proyecto. Adicionalmente, LPS plantea la importancia de definir las relaciones de responsable-cliente de manera que exista una responsabilidad directa de cumplir determinado objetivo. Con ello, será mucho más sencillo determinar las causas y mejoras correspondientes al incumplimiento de una tarea. Es esencial que no solo el receptor final sea tratado como cliente, cada una de las áreas interdependientes entre sí deben cumplir a cabalidad el producto o servicio que necesitan las otras áreas, a tiempo y con buenos estándares de calidad.

Para lograr una planeación ordenada, clara y concisa, LPS instaura el uso de Work Breakdown Structure (WBS). La WBS se describe como “una descomposición jerárquica del trabajo a ser ejecutado por el equipo del proyecto” [32], en otras palabras, la WBS es un mapa que describe las diferentes etapas de un proyecto desde un nivel superior hasta un nivel inferior con mayor detalle.

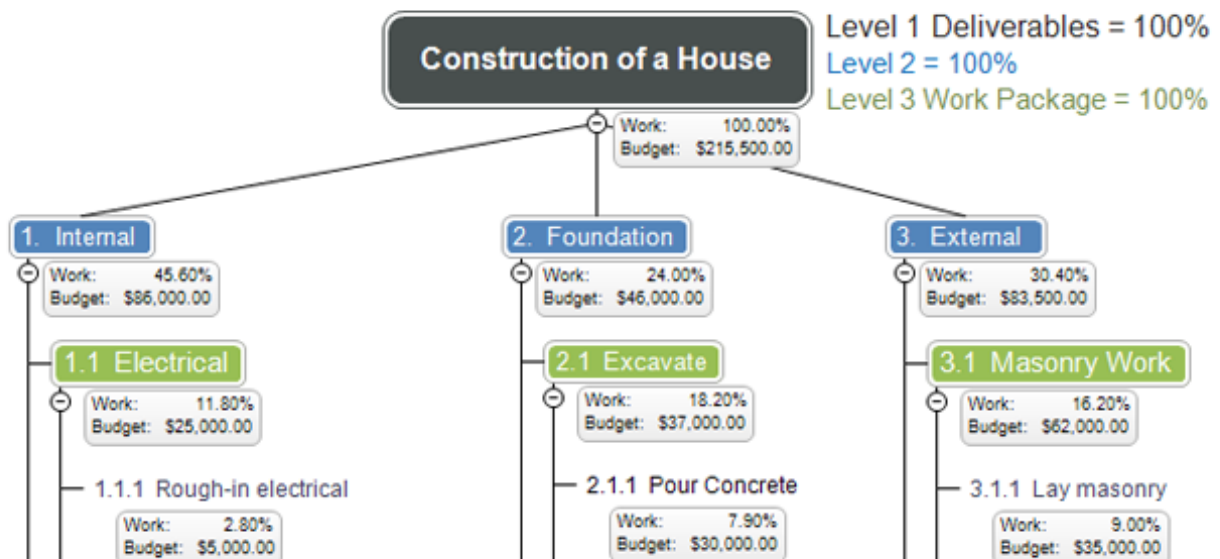


Ilustración 3. WBS [32]

En la Ilustración 3 se muestra un ejemplo de la estructura descrita anteriormente y se evidencia que la WBS permite vincular las etapas del proyecto con la estructura de costos del mismo. Esto con el fin de lograr un control de los costos y la producción. A partir de las líneas generales de la WBS, se establece un plan de trabajo conocido como *Master Schedule*. Este plan maestro busca establecer las líneas generales del proyecto y con ello, proyectar la fecha de finalización del proyecto teniendo en cuenta una fecha de inicio específica [33]. Para ello se propone utilizar cronogramas de trabajo por fases (*Phase Schedule*), donde los representantes de las partes involucradas en una fase específica, se reúnen con el ánimo de determinar la totalidad de las tareas a realizar y proponer el orden más apropiado para llevar a cabo dichas tareas. Estas son las bases requeridas para llevar a cabo programas de planeación más específicos como el *LookAhead Schedule* y el *Weekly Work Plan*.

El *LookAhead Schedule* es un cronograma más específico, que consiste en programar las actividades de aproximadamente 2-3 meses. Para esta etapa de la programación, las restricciones de cada fase se identifican. Este cronograma se basa en el *Phase Schedule* puesto que detalla sus actividades y con un mayor nivel de detalle reconoce las restricciones de cada fase y los tiempos del mismo. Posteriormente, llega la planeación semanal denominada *Weekly Work Plan* (WWP). El WWP se construye con las tareas del último nivel de la WBS y se encarga de visualizar las tareas día a día que se pretenden realizar en la siguiente semana. Vale la pena resaltar que los cronogramas propuestos por LPS no solo buscan organizar las tareas futuras, también, pretenden identificar las causas de los retrasos en las tareas ya realizadas para poder implementar mejoras en las siguientes fases del proyecto.

Ahora bien, LPS cuenta con una herramienta de medición conocida como porcentaje de asignaciones completadas (PPC). Después de tener definido el calendario semanal y de culminar

dicha semana de trabajo, se realiza un porcentaje de tareas completadas del total de actividades planeadas para la semana. De esta manera, se determina el grado de confiabilidad que arroja el WWP y por ende, el Look-Ahead Horizon.

Adicionalmente, el LPS cuenta con reuniones diarias con el fin de comunicar a la totalidad de los involucrados advertencias o cambios a tener en cuenta para el trabajo de ese día y además, transmitir los mejoramientos planteados a partir de las herramientas mencionadas anteriormente [34].

Así, LPS centrado en lineamientos Lean busca “reducir las pérdidas ocasionadas por la planificación tradicional, la cual se basa en conceptos erróneos e información no confiable” [35]. Dentro de los beneficios más trascendentales del buen uso de LPS para las compañías constructoras, se encuentran:

- Incremento de seguridad
- Estabilización en los sistemas de producción
- Control proactivo en los procesos
- Reducción en los tiempos de espera
- Creación de valor en los proyectos
- Nuevas estrategias en el negocio de la construcción
- Descentralización en la toma de decisiones
- Reducción de estrés en el personal de gestión del proyecto

En resumen, la confiabilidad de la planificación de la obra incrementa notoriamente con la aplicación del LPS.

2.2.3 Performance-Based Design (PBD)

Esta herramienta se encarga de ejecutar los diseños de las edificaciones basados en el desempeño del mismo según una “selección de apropiados esquemas de evaluación que permitan el dimensionado y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y del contenido, de manera que para un nivel de movimiento sísmico especificado y con diferentes niveles de confiabilidad, la estructura no debería ser dañada más allá de ciertos estados límites” [36]. Cuando el diseño se centra en el desempeño que tendrá el edificio y no en componentes específicos del mismo, los beneficios que conllevan tras contar con un buen diseño se evidencian en la totalidad del proyecto. La Ilustración 4 resume los beneficios que se generan con diseños basados en desempeño.



Ilustración 4. Beneficios del PBD [37]

2.2.4 Building Information Modeling (BIM)

El glosario del manual BIM define Modelado con Información para la Construcción como un “verbo o adjetivo que describe herramientas, procesos y tecnologías que facilitan el desarrollo, la planeación, la construcción y la operación de un edificio, por medio de documentos digitales legibles” [29, p. 968]. Como menciona esta cita, el término BIM se utiliza para referenciar las herramientas computacionales que facilitan los procedimientos antes y después del diseño de un proyecto de construcción. Por medio de distintos softwares especializados, BIM crea modelos virtuales donde la totalidad de elementos que componen un proyecto de construcción están contenidos. Dentro de la información que contienen estos modelos esta: la geometría de todos los elementos que componen un proyecto, datos paramétricos de información de cada producto (material, estado de avance, especificaciones técnicas), entre otros [38].

Lo que pretende BIM, es contar con una comunicación clara que involucre a la totalidad de las partes participantes en el diseño y construcción de determinada edificación. Debido a que el modelo virtual contendrá la información completa de la edificación, la comunicación entre las partes será oportuna. De este modo, se minimizan los conflictos e interferencias entre las diferentes partes especializadas. Por esta razón, BIM logra “centralizar la información y servir como fuente para mejora del diseño, el análisis de constructabilidad, detección de interferencias y oportuna toma de decisiones en beneficio del costo y plazo del proyecto” [38]. Mismamente, las especialidades de arquitectura, estructuras e instalaciones se centraliza en un único modelo.

BIM se ha convertido en una herramienta importante debido a que esta tiene en consideración dos factores específicos del sector constructivo que hace que su productividad se vea influenciada (McNell et al., s.f.).

1. Las edificaciones consumen grandes proporciones de recursos
2. El 57% de recursos económicos destinados a la construcción se consumen en actividades que no generan valor, desperdicios.

Así, R. Sacks, L. Koskela, B. Dave y R. Owen mencionan que los sistemas BIM logran numerosos beneficios para el desarrollo de un proyecto. Dichos privilegios se resumen en la lista que continua.

- Visualización de la forma del proyecto (Beneficios de carácter estético y funcional)

- Generación Rápida de Alternativas de diseño
- Uso de información proporcionada por los modelos virtuales para el análisis predictivo del desempeño de la obra
- Mantenimiento de la integridad del modelo de información y diseño
- Generación automatizada de dibujos y documentos
- Colaboración en el diseño y construcción
- Evaluación de las alternativas de plan de construcción
- Base de datos en línea (Herramienta de comunicación)
- Transferencia directa de información a soporte controlado por computador

Con estos beneficios, BIM es una herramienta que aunque no es indispensable para la aplicación de Lean Construction, es de gran ayuda para fijar la filosofía en el proceso constructivo de una obra. En otras palabras, será más fácil llegar a Lean Construction con ayuda de un Modelado con Información para la Construcción (BIM).

Algunas de las herramientas BIM son: Revit (Autodesk), Bentley Structural Modeler (Bentley), RAM Steel (Bentley), Tekla Structures (Tekla Cooperation) y ArchiCAD (Graphisoft) (McNell et al., s.f.).

Los problemas asociados a la implementación de BIM son básicamente los costos involucrados en la adquisición y manejo de software y hardware especializados. Debido a que es necesario contar con una transición de planos en CAD a modelos en 3D y 4D, se requerirá calificar el personal en el manejo de los softwares o adquirir personal nuevo capacitado. Por esta razón, los costos tras la implementación de BIM son elevados, sin embargo, los costos a largo plazo se reducen notablemente.

2.2.5 Virtual Design and Construction (VDC)

El diseño y construcción virtual ha sido desarrollado por la Universidad de Standford hace aproximadamente dos décadas. El VDC se define como “el uso de modelos multidisciplinarios de desempeño para proyectos de diseño-construcción, incluyendo el producto, proceso productivo y organización del equipo de diseño y construcción, con el fin de apoyar los objetivos del negocio” (Fischer et al, 2004). VDC utiliza como herramienta fundamental BIM y con la ayuda de dichos modelos, busca simular los procesos de ejecución del diseño y construcción de la obra con el fin de identificar posibles falencias en estos procesos y así, corregirlas antes de que ocurran en la fase constructiva [39].

2.2.6 Integrate Project Delivery (IPD)

Los contratos colaborativos (IPD) como su nombre sugiere, se enfocan en procesos colaborativos cuyo único objetivo es integrar a todas las partes involucradas en el desarrollo del producto final con el fin de obtener beneficios como lo son: reducir los desperdicios y maximizar la efectividad [31]. Adicionalmente, el IPD logra concentrar los esfuerzos en etapas tempranas del proyecto de manera que los costos asociados a dichos esfuerzos, son muchos menores, esto se evidencia en la Ilustración 5.

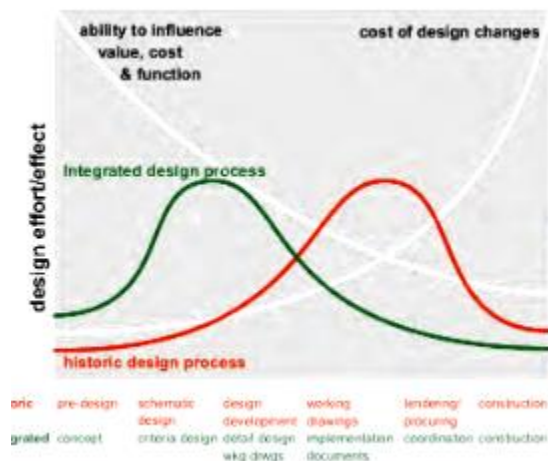


Ilustración 5. Esfuerzo de diseño vs Costo [40]

La reducción de estos costos no es el único beneficio generado con la inclusión de contratos colaborativos. En la Tabla 1, Mossman señala los beneficios que brinda la implementación del IPD para los 3 grandes agentes que ejecutan un proyecto de construcción.

Tabla 1. Beneficios IPD [40]

For clients	For designers	For constructors
<ul style="list-style-type: none"> • Easier to link design options to business objectives • Improved value and a higher quality product • Greater potential for lower cost construction & operation • Reduced energy cost of use 	<ul style="list-style-type: none"> • Less rework, minimises iteration • Relationships, conversations & commitments are managed • Decisions at last responsible moment • Easier to create excellent green buildings • Easier to design to target cost • reduced design documentation time 	<ul style="list-style-type: none"> • Better integrated design • More buildable • Logistics considered from outset • Relationships, conversations & commitments systematically managed • greater construction cost certainty

Para obtener los beneficios listados, el IPD genera un cambio en el personal de trabajo puesto que cada entidad se enfoca en cumplir los objetivos del proyecto mas no en alcanzar sus propios intereses. De la misma manera, los errores que surgen en el proceso pueden solucionarse con ayuda de todos los involucrados en el proyecto no solo en la entidad que se equivocó. Así, se logra obtener un trabajo de calidad cuyo único fin es obtener el mayor beneficio para el producto final.

2.2.7 Target Value Design (TVD)

El TVD es una estrategia que busca identificar los objetivos que agregan valor en los distintos procesos de la compañía y con esto en mente, enfocar los objetivos de cada parte en las actividades que agregan valor. TVD consiste en la aplicación del target cost o costo objetivo en proyectos de arquitectura-ingeniería- construcción [41]. Lo que pretende es guiar el proceso de producción hacia lo que espera el cliente y no hacia lo que se suele hacer. Por esta razón, el TVD brinda la oportunidad de que los diseñadores participen en reuniones donde el cliente y el constructor señalen sus requerimientos y aspiraciones tras la construcción del proyecto.

2.3 Lean Construction en Colombia

La implementación de Lean Construction ha incrementado notoriamente. Numerosos países han optado por incluir dicha filosofía en sus proyectos y de esta manera, disfrutar de sus privilegios. Colombia, no ha sido la excepción por lo que en la actualidad ha sido de especial interés proceder a la implementación del mismo en los proyectos colombianos.

En Expoconstrucción & Expodiseño 2015, Lauri Koskela fundador de Lean Construction reconoció junto con la Cámara Colombiana de la Construcción regional de Bogotá, 18 empresas colombianas líderes en la implantación de Lean. A continuación, se listan las empresas pioneras en Lean del país: Apiros, Amarilo, Arpro Arquitectos Ingenieros, Bioconstrucciones de Colombia, Construcciones Arrecife, Constructora Bolívar, Constructora Capital Bogotá, Corac Construcciones, Cusezar, Desarrolladora de Zonas Francas, Grecon Ingenieros, IC Constructora, Ingeurbe, Marval, Organización Construmax, Proksol, Triada y Urbanizadora [42]. Dicho reconocimiento se logró debido a capacitaciones brindadas a las empresas constructoras en el tema desde el 2007. Tras la efectividad del modelo, expertos motivan la inclusión del modelo en las empresas del país. Por ejemplo Martha Moreno Mesa, gerente de Camacol B&C asegura que “modelos como Lean Construction le posibilitan a la empresas de construcción, de una manera innovadora, mayores ahorros de dinero, tiempo y recursos naturales lo que se traduce en proyectos integrales que del diseño a la construcción crean mejores ciudades para las personas” [42].

Hasta el momento se ha logrado implementar una fase inicial de Lean. Los conceptos y principios Lean se han difundido y por ende, sus beneficios son cada vez más reconocidos. Así, tras su implementación se han logrado obtener mejoras en la planificación de una obra con el uso de herramientas como BIM, Last Planner y la Línea de Balance [43].

A pesar del reconocimiento obtenido, en Colombia aún hace falta un cambio importante que permita aumentar el alcance de Lean. Aunque se han realizado diversos esfuerzos con el ánimo de implementar estas prácticas, la mentalidad y cultura de los constructores colombianos dificulta su instauración [43]. Por esta razón, no se ha logrado efectuar de una forma adecuada y por ende, la integración de los factores Lean aun no es la deseada.

3 Modelo de Madurez

El concepto de modelo de madurez es altamente reconocido en la gestión de proyectos. Actualmente, existen diversas organizaciones encargadas de promover certificaciones por medio del uso de modelos de madurez y de esta manera, brindar un servicio de reconocimiento de debilidades, fortalezas y mejoras a futuro. Un ejemplo de esto, es APMG-International, una organización que opera en Reino Unido, Estados Unidos, Alemania, Malasia, India, Australia, China y Holanda, cuyo objetivo se centra en desarrollar y brindar un esquema de calificación para acreditar organismos en formación [44].

Teniendo en cuenta las metas de este tipo de organizaciones, es posible definir un modelo de madurez como “un conjunto estructurado de elementos (buenas prácticas, herramientas de medición, criterios de análisis, etc.), que permite identificar las capacidades instaladas en dirección

de proyectos en la organización, compararlas con estándares, identificar vacíos o debilidades y establecer procesos de mejora continua” [45].

Con el fin de definir el objetivo y la manera de abordar el desarrollo de un modelo de madurez de Lean Construction, se revisó bibliografía en el tema. Para ello, se analizaron los modelos de madurez existentes en temas relacionados con proyectos de construcción, Lean Construction y otros modelos en áreas diferentes de alto impacto. En el Anexo 4, se muestra la tabla resumen con las características principales de los modelos estudiados.

Teniendo en cuenta las fortalezas, debilidades y especialmente, el enfoque de cada modelo, se tomó la decisión de desarrollar un modelo de madurez con un enfoque en las herramientas de esta filosofía. Los modelos existentes rescatan características generales de Lean pero no precisan en la aplicación de sus herramientas. Por esta razón, lo que se busca es establecer los criterios necesarios para direccionar un proyecto de construcción hacia una filosofía Lean mediante el uso correcto de sus principios y herramientas, crear una cultura Lean y de esta manera, obtener todos los beneficios que brinda el mismo.

4 Diseño del Modelo

Teniendo en cuenta que existen numerosos modelos de madurez, es indispensable conocer el procedimiento que se llevó a cabo para el diseño de estos con el fin de tener un modelo a seguir. Por esta razón, se siguieron los pasos propuestos por De Bruin, Freeze, Kaulkarni & Rosemann en la Conferencia Australiana en Sistemas de Información.

4.1 Alcance

Como primera medida, fue necesario determinar el alcance que tendría el modelo a diseñar. Tal y como sugieren De Bruin et al. este primer acercamiento es necesario para definir los límites de la aplicación y uso del modelo. Para esto es indispensable determinar el enfoque que tendrá el modelo. Debido a las condiciones del mismo, el modelo será desarrollado para un dominio específico, su uso inicial será exclusivamente académico y tras la realización de pruebas pertinentes, el modelo podrá ser empleado en la práctica.

El dominio descrito anteriormente se centra en grupos de interés con conocimiento en Lean Construction. Por esta razón, el modelo contendrá conceptos específicos de la filosofía Lean Construction y tendrá como objetivo promover esta filosofía en diversos aspectos de un proyecto de construcción.

4.2 Diseño

Esta etapa es la encargada de instaurar la arquitectura del modelo y las bases para su desarrollo [46]. Para esto es indispensable definir específicamente los objetivos del modelo. El modelo de madurez a diseñar estará enfocado en el uso y aplicación de la filosofía, su cultura y herramientas a lo largo de la vida de un proyecto de construcción. De esta manera, se espera clarificar el objetivo de cada aspecto, promover su buen uso para que el proyecto obtenga la totalidad de beneficios asociados a la inclusión de estas buenas prácticas.

Ahora bien, De Bruin et al. sugieren aspectos indispensables para la creación de un modelo de utilidad. En primera instancia, el modelo no debe ser ni muy simple, ni muy complejo. La simplicidad de un modelo no es propicia para el mismo debido que este no podrá reflejar la totalidad de aspectos del dominio ni proveer información completa al usuario. Por otro lado, es importante contar con una división por etapas de madurez bien definida, capaz de distinguir con claridad una etapa de la otra. Para lograr una correcta definición de las etapas, se propone un enfoque de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba [46]. El primero, se encarga de definir cada nivel y posteriormente, la manera de medirlo. El segundo en cambio, establece las etapas de medición y luego las define.

Para el caso de estudio, se decidió utilizar un enfoque de arriba hacia abajo. Lo anterior debido a que la información disponible de modelos de madurez de Lean Construction es muy poca, razón por la cual se debe establecer y definir los conceptos fundamentales para el desarrollo del modelo. Esta fase se evidencia en la revisión bibliográfica que se realizó en el apartado de Lean Management, Lean Construction y Lean Construction en Colombia. De esta manera, se espera determinar qué es madurez en Lean Construction y posteriormente, buscar cómo medirlo.

4.3 Poblar

En esta fase se plasman los resultados de la revisión bibliográfica. El objetivo del modelo será promover el uso correcto y continuo de principios y herramientas Lean con el fin de entablar una cultura Lean en la compañía. Tras contar con los componentes que propician la inclusión de estos tres aspectos Lean, se determinará la mejor manera de definirlos e identificar el avance de su implementación.

Para esto, se utilizó la técnica Delphi con el ánimo de validar la propuesta y recibir sugerencias de un panel de expertos. Un Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos cuya meta es brindar su opinión sobre un tema de interés [47]. En este caso, el tema de interés es el desarrollo de la primera fase de un modelo de madurez de Lean Construction. Para conseguirlo, se realizan sucesivas rondas anónimas y autónomas con objeto de identificar concordancia en las sugerencias recibidas por todos los expertos del panel. Así, la propuesta tendrá un valor más alto debido a la intervención que tuvo el panel en su desarrollo. A continuación, se describe el proceso seguido y los resultados de la primera iteración.

4.3.1 Primera Iteración

La primera iteración del Delphi tiene como propósito determinar las categorías a analizar con sus respectivos aspectos principales. La siguiente iteración buscará con mayor precisión establecer las condiciones del modelo capaces de determinar un nivel de madurez para cada uno de los ítems estudiados.

Teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de modelos de madurez en el tema, se decidió proponer un modelo que se encargue de verificar con un alto nivel de detalle las características de Lean presentes en un proyecto. De esta manera, fue necesario primeramente realizar un estudio de bibliografía amplio que permitiera conocer los aspectos más importantes dentro de la filosofía Lean

Construction. Para el estudio, se propusieron tres categorías: filosofía, cultura y herramientas de Lean Construction.

Según la revisión bibliográfica que se llevó a cabo, fueron asignados los componentes relevantes para promover y evaluar las tres categorías de Lean Construction en un proyecto. A continuación, se muestra la primera iteración del Delphi.

Tabla 2. Primera Iteración Delphi

Categorías	Componentes
Filosofía LC	Mentalidad Kaizen
	Muda, Mura y Muri
	Principios de Koskela
Cultura LC	Hoshin
	Gemba
	Genchi Genbutsu
	Making Do
	Womack
Herramientas LC	Integrated Project Delivery
	Just in Time
	Last Planner System
	Informe A3
	Value Stream Mapping
	Control de calidad total (TQC)
	Mantenimiento Productivo Total (MPT)
	5 Why's
	7 S's
	Diagrama Isikawa
	X- Matrix
	Línea de Balance

Posteriormente, se difundió la propuesta mostrada en la Tabla 2 a un panel de 7 expertos en el tema de Lean Construction. Con respecto a las sugerencias planteadas por el panel, se modificó la distribución planeada en la Tabla 2 agregando componentes nuevos, suprimiendo otros y reasignando componentes en otras categorías.

La sugerencia más controversial que se evidenció en los resultados del Delphi fue la presencia de los principios de Koskela y de Womack en la tabla de componentes fundamentales. Tres de los expertos señalaron que no era conveniente incluir estos dos componentes puesto que no son esenciales para Lean Construction, simplemente para Lean Management. Sin embargo, teniendo en cuenta que Lean Construction es una adaptación de Lean Management y que la implementación de los mismos

en un proyecto clarifica la mentalidad Lean dentro del mismo, se decidió mantener dichos componentes en sus categorías iniciales.

Por otro lado, algunos componentes que fueron omitidos inicialmente se agregaron por las sugerencias recibidas por el panel. Los componentes adicionales fueron: Kanban, Plan-Do-Check-Act, Virtual Design and Construction, Building Information Modeling y Target Value Delivery. Adicionalmente, se sugirieron ciertos cambios de categoría para algunos componentes sin embargo, no hubo concordancia frente a dichos cambios y por ende, se decidió continuar con la división inicial.

Adicionalmente, uno de los expertos propuso crear una categoría adicional encargada de diferenciar los conceptos Lean de los conceptos Lean Construction. Después de analizar la sugerencia recibida, se resolvió no incluir esta categoría adicional puesto que dentro del concepto de Lean Construction el término Lean se encuentra de manera implícita. Esto quiere decir que los componentes de Lean hacen parte fundamental de Lean Construction y no sería pertinente excluir dichos elementos en la aplicación de esta filosofía enfocada en el área de la construcción.

La Tabla 3 muestra la propuesta final de esta primera iteración para construir el modelo de madurez.

Tabla 3. Primera Iteración Delphi Actualizada

PROPUESTA	
Filosofía LC	Mentalidad Kaizen
	Muda, Mura y Muri
	Principios de Koskela
Cultura LC	Hoshin
	Gemba
	Genchi Genbutsu
	Making Do
	Womack
Herramientas LC	Integrated Project Delivery
	Just in Time
	Last Planner System
	Informe A3
	Value Stream Mapping
	Control de calidad total (TQC)
	Mantenimiento Productivo Total (MPT)
	5 Why's
	7 S's
	Diagrama Isikawa
	X- Matrix
	Línea de Balance

	Kanban
	Plan-Do-Check-Act
	Building Information Modeling
	Target Value Delivery

4.3.2 Segunda Iteración

Después de contar con los componentes de medición y la distribución de estos en las tres categorías, se sugiere realizar una segunda iteración donde se establezcan los criterios de medición de las variables propuestas. Dichos criterios deben basarse en la definición de los términos y del objetivo que tienen para promover Lean Construction. Adicionalmente, en esta fase se define la escala de medición. Para este caso, se sugiere contar con dos escalas que permitan analizar el estado de avance de cada componente.

La primera escala de medición debe simplemente reconocer si hay inclusión de cierta variable en los procesos de la compañía o no. Esta escala es un poco radical puesto que no es posible identificar si determinado componente se encuentra en proceso de implementación, simplemente si esta o no. Lo anterior permitiría aplicar los conceptos de Lean en la aplicación del modelo de madurez del mismo ya que Lean Construction clarifica estrictamente que si la aplicación de las herramientas o principios no es completa está no se conocerá como una práctica Lean, simplemente como un hábito más.

Por el otro lado, se implementaría una escala con niveles donde cada nivel implica un grado específico de avance en la implementación de cada componente. Esta escala de medición cuantificaría el avance y desempeño en la implementación de cada uno de los componentes. De esta manera, sería sencillo identificar los puntos débiles en el proceso de inclusión y así, crear estrategias para fortalecer dichas debilidades y lograr mejores resultados.

4.4 Ensayar

El modelo debe ser ensayado para ser validado y promover su uso. La validez del modelo se alcanza cuando se demuestra que el modelo es apto para la totalidad del dominio al que fue diseñado. Otro requisito para lograr la validación de este es que los resultados arrojados tras su aplicación sean confiables y acertados. Para lograrlo es necesario aplicar el modelo en diversas compañías y evaluar los resultados del mismo. Para esto, se pueden aplicar varios tests que demuestran la efectividad del modelo, por ejemplo: el *inter-rater reliability pilot test* o una encuesta de evaluación de madurez [46].

4.5 Desplegar

En primera instancia, el modelo debe estar disponible para su uso y su verificación [46]. Por otro lado, el modelo ha de precisar sus límites, de manera que cualquier usuario interesado en utilizarlo conozca el alcance del modelo y las condiciones de su aplicación para obtener resultados satisfactorios.

4.6 Mantener

Esta última fase hace referencia a la aceptación del modelo. Para ello, se sugiere estar en continua exploración de nuevos métodos y recepción de sugerencias que sean aplicables al método con el ánimo de obtener mejoras en los resultados y así mismo, mayor aceptación. Además, es indispensable contar con los recursos suficientes para mantener el modelo y su evolución. Finalmente, es importante resaltar los beneficios que éste ha traído a distintas entidades y comunicar que tras la evolución del modelo los beneficios serán mayores.

5 Conclusiones y Recomendaciones

La inclusión de Lean Construction en empresas constructoras ha venido incrementando notablemente. Por esta razón, se hace cada vez más importante conocer el estado de madurez de Lean Construction. Para ello se espera conocer la respuesta a preguntas como ¿A dónde se quiere llegar? ¿En dónde está actualmente? Y ¿Cómo se alcanzará la meta? Lo anterior con el ánimo de brindar orientación en el proceso de implementación de Lean Construction y así, integrar los beneficios que trae el uso de un modelo de madurez y la inclusión de Lean Construction.

El modelo propuesto se encuentra en una primera fase de desarrollo. Después de la investigación realizada, se determinaron las categorías y componentes que darán lugar al modelo de madurez. Dichos componentes se dividieron en tres categorías: cultura, principios y herramientas Lean Construction y lo que buscan es promover la inclusión ítem por ítem, para que todos los aspectos que trata Lean se contengan en la inclusión de la filosofía y por ende, se presente una mejora en la totalidad de los aspectos de una empresa de construcción. En otras palabras, que se efectúe una inclusión íntegra de Lean Construction.

Debido al poco tiempo disponible para alcanzar el objetivo de la investigación, no fue posible culminar el desarrollo del modelo de madurez y efectuar las pruebas que el mismo merece. Por esta razón, se sugiere para estudios futuros, realizar una segunda iteración de Delphi que se encargue de establecer la descripción propicia para cada ítem a evaluar y así, constituir de forma completa y clara, la evaluación cuantitativa de cada aspecto a tratar. Cuando se cuente con un modelo completo, lo que se sugiere es continuar con las etapas de ensayar, desplegar y mantener descritas en el apartado anterior. Así, se podrá mejorar y validar el modelo para asegurar que este brinde resultados confiables.

6 Anexos

Anexo 1. Ejemplo diagrama de Ishikawa

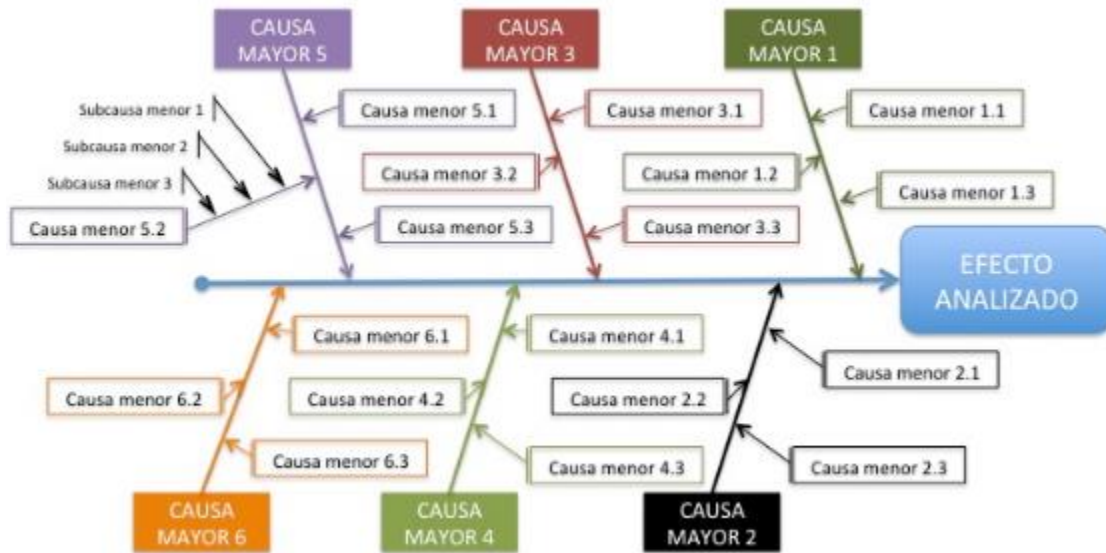


Ilustración 6. Diagrama de Ishikawa [48]

Anexo 2. Simbología Value Stream Mapping



Ilustración 7. Simbología Value Stream Mapping [19]

Anexo 3. Funcionamiento X-Matrix

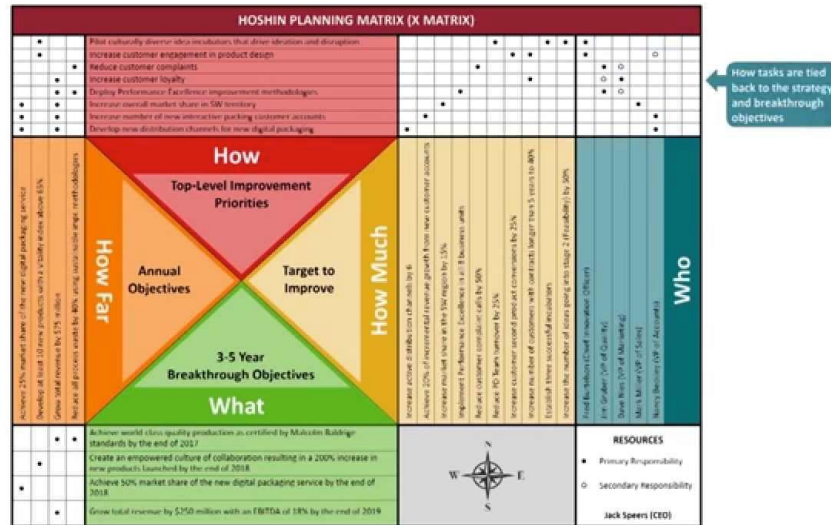


Ilustración 8. Funcionamiento X-Matrix [25]

Anexo 4. Resumen Modelos de Madurez Existentes

Tabla 4. Resumen Modelos de Madurez Existentes

Modelo	Año	Desarrollador	Objetivo	Descripción	Recomendaciones
Standardised Process Improvement for Construction Enterprises	2000	Centro de Información Tecnológica de Construcción (CITC), Universidad de Salford (UK)	Adaptar el CMM a la industria de la construcción	El modelo al ser una adaptación del CMM consta de 5 niveles evolutivos hacia un proceso de mejoramiento continuo. Proporciona directrices para priorizar procesos destinados al mejoramiento.	Aplicar y adaptar el modelo a la totalidad de las fases del proyecto, pues los mayores problemas se encuentran en fases de pre-construcción. Clarificar la diferencia entre los conceptos de "manejo del riesgo" y "evaluación de riesgo" (Nivel 2). Culminar la adaptación de los niveles del CMM en la industria de la construcción.

Lean Enterprise Self-Assessment Tool	2002	Massachusetts Institute of Technology	Promover el “uso” de principios y practicas Lean con el fin de alcanzar el más alto valor para la empresa y sus partes.	El modelo se divide en tres secciones Lean: liderazgo y transformación hacia Lean, procesos del ciclo de vida del producto y adaptación de la infraestructura. Cada sección contiene practicas Lean que hacen parte de la matriz de madurez del LESAT. Dicha matriz permite definir el nivel frente al desarrollo de Lean. El modelo está compuesto por 5 niveles de madurez desde el 1 (menos apto) al 5 (más apto). Cada nivel está compuesto por un factor de desempeño, el cual caracteriza con detalle dicho nivel.	El modelo se puede adaptar a una gran variedad de industrias. Se sugiere la creación de herramientas computacionales para lograr diagnósticos automáticos y sistemas expertos para asistir a los gerentes en la interpretación de resultados.
Lean Construction Maturity Model	2002	Claus Nesensohn, Liverpool John Moores University (UK)	Medir estado actual de madurez en LC y apoyar a la organización a planear y organizar la transformación para seguir ascendiendo en LC.	Presenta 6 factores descritos por medio de 11 atributos claves. Dichos atributos se pueden medir a través de 60 comportamientos y practicas compuestos cada uno por al menos un estado ideal (75 en total). El MM consta de 5 niveles de madurez desde el nivel 0 (incierto) al nivel 4 (desafiante).	LCMM no fue probado por lo cual se sugiere aplicar el modelo, comprobar su eficiencia y determinar un rango e implicaciones del mismo. Confirmar que tan pertinente es el uso de los 11 atributos en un proyecto.
Lean Capability Model	2007	Frances Jorgensen, Rikke Matthiesen, Jacob Nielsen & Jhon Johanssem. Aalborg University	Guiar el progreso del desempeño en términos de Lean y el desarrollo de nuevas capacidades. Está enfocado hacia la transmisión de la	El modelo propone 5 niveles de madurez basados en la adopción de principios, pensamientos, tecnología y metodología Lean. El máximo nivel de	Es indispensable tener en cuenta el aprendizaje organizacional como elemento fundamental para la implementación de Lean a lo largo de la totalidad de la

			filosofía Lean en la totalidad de las actividades o procesos del proyecto.	madurez “Lean in the EME” tiene en cuenta que la implementación de Lean se debe llevar a cabo para la totalidad de procesos de un proyecto, incluyendo actividades que ocurran fuera de las barreras de la compañía (EME).	organización. El modelo debe ser consistente al promover sostenibilidad de Lean a largo plazo.
Construcción Supply Chain Maturity Model	2007	Kalyan Vaidyanathan & Gregory Howell	Reducir retrasos en la transmisión de información y la ineficiencia operacional asociada a duplicación de información debido al factor humano presente en las distintas partes de la cadena de suministros.	Consiste en 4 etapas de madurez, la caracterización de cada etapa se centra en la calidad de la etapa de planeación y en el flujo continuo de información en todas las direcciones de la cadena de suministro. Propone estrategias de medición del nivel de madurez.	El modelo propuesto es conceptual, debe ser validado. Es importante establecer mejoras en los criterios de evaluación. Requiere mayor investigación para un desarrollo más profundo del modelo. Necesita especificaciones para distintos tipos de construcción. Analizar minuciosamente los beneficios del modelo.
Modelo de madurez de gestión del conocimiento en el sector de la construcción	2016	Beatriz Juliana Vanegas García	Evaluar el nivel de madurez en la gestión del conocimiento en las empresas constructoras en Colombia. Evitar pérdida de información y conocimiento debido a la alta rotación de los empleados y carencia en la gestión del conocimiento.	Consta de 5 niveles (desde el nivel 0 - Inconsistencia hasta el nivel 4 - Efectivo). Cada nivel se caracteriza por según su manera de trabajar el conocimiento (identificar, adaptar, crear, generar, categorizar, formalizar, explicitar, transferir y aplicar el mismo). El modelo fue	Es recomendable realizar un mínimo de dos entrevistas por empresa y tener acceso a la misma con el fin de observar con claridad los procesos implementados en estas y su evolución. Mediante la experiencia identificar aspectos que puedan omitirse en las entrevistas. Para obtener información comparable es indispensable entrevistar personal de un mismo cargo.

7 Bibliografía

- [1] C. Nesensohn, «Webinar: Introduction to Lean Construction Maturity,» 29 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://vimeo.com/93287446>. [Último acceso: 07 Septiembre 2016].
- [2] S.-U.-R. Toor y S. Ogunlana, «Problems causing delays in mayor construction projects in Thailand,» *Construction Management and Economics*, pp. 395-408, April 2008.
- [3] G. A. Howell, «What is Lean Construction,» de *Seventh Conference of the International Group for Lean Construction*, California, 1999.
- [4] S. Shrivastava, «Growth Machine,» 16 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://saurabh-growthmachine.blogspot.com.co/2012/06/womack-and-jones-5-principles-of-lean.html>. [Último acceso: 30 Septiembre 2016].
- [5] M. F. Borja y A. Puertas, «Propuesta metodológica de gestión del tiempo de múltiples proyectos basada en los principios de Lean Project Management y Portfolio Management, aplicados al sector de la construcción en Santiago de Cali,» Santiago de Cali, 2012.
- [6] Y. A. Tapias, «Estudio y aplicación del Kaizen,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2010.
- [7] L. C. Jiménez, «Filosofía japonesa del Kaizen: En qué consiste su metodología y cómo las empresas costarricenses pueden prepararse para alcanzar el éxito con su aplicación?,» s.f..
- [8] L. Gutiérrez, J. M. Pérez y C. Ruiz, «Implantación de un sistema Kaizen, en el ambiente laboral,» de *Cruzando Fronteras: Tendencias de Contabilidad Directiva para el Siglo XXI*, 2001.
- [9] A. Garza Elizondo, «Kaizen, una mejora continua,» *Ciencia UANL*, vol. VIII, nº 003, pp. 330-333, Julio-Septiembre 2005.
- [10] I. Wigmore, Abril 2015. [En línea]. Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/PDCA-plan-do-check-act>. [Último acceso: 05 Diciembre 2016].
- [11] D. Bartholomew, «Lean Enterprise Institute,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.lean.org/Search/Documents/312.pdf>. [Último acceso: 29 09 2016].
- [12] R. Domingo, «Asian Institute of Management,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.rtdonline.com/BMA/MM/SevenWastes.pdf>. [Último acceso: 29 09 2016].
- [13] L. Koskela, «Making- Do - The Eight Category of Waste,» Salford, 2004.

- [14] Hoshin Kanri, s.f.. [En línea]. Available: http://www.hoshinkanripro.com/hoshin_kanri_explained.html. [Último acceso: 30 09 2016].
- [15] J. Liker, 2003. [En línea]. Available: <https://www.isixsigma.com/dictionary/genchi-gembutsu/>. [Último acceso: 03 Octubre 2016].
- [16] M. Stamm, T. Neitzert y D. Singh, 2009. [En línea]. Available: <http://aut.researchgateway.ac.nz/bitstream/handle/10292/3858/Stamm%20Evolution%20of%20manufacturing%20paradigms.pdf?sequence=2>. [Último acceso: 03 Octubre 2016].
- [17] Global Lean, 08 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://www.globallean.net/noticias/informe-lean-a3-herramienta-de-mejora/1504/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2016].
- [18] F. Marín y J. Delgado, Universidad Politécnica de Madrid, s.f.. [En línea]. Available: <http://www.cge.es/portalcge/tecnologia/innovacion/4115sistemajust.aspx>. [Último acceso: 03 Octubre 2016].
- [19] Lean Manufacturing Tools, s.f.. [En línea]. Available: <http://leanmanufacturingtools.org/551/creating-a-value-stream-map/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [20] H. Wiesenfelder, 14 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.brighthubpm.com/six-sigma/57799-overview-of-the-7s-process-in-lean-six-sigma/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [21] «7 S's,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.keywordsking.com/N3MgbGVhbg/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [22] K. Simon, s.f.. [En línea]. Available: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/cause-and-effect-aka-fishbone-diagram/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [23] iSixSigma, s.f.. [En línea]. Available: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].
- [24] University of Washington, s.f.. [En línea]. Available: http://courses.washington.edu/ie337/Value_Stream_Mapping.pdf. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [25] BMDI, «Hoshin Planning and the X-Matrix: Parts and Purpose,» 17 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=7v9yHL8thIU>. [Último acceso: 17 Noviembre 2016].

- [26] M. Vera, «Línea de Balance aplicada a proyectos de Construcción,» *Revista Digital Apuntes de Investigación*, vol. 5, Enero 2013.
- [27] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy y I. Minkarah, «Lean Construction: From Theory to Implementation,» *Journal of Management in Engineering ASCE*, pp. 168-175, 2006.
- [28] S. Bertelsen, «Lean Construction,» 2003. [En línea]. Available: <http://leanconstruction.dk/media/16764/Construction%20as%20a%20Complex%20System.pdf>. [Último acceso: 28 Septiembre 2016].
- [29] R. Sacks, L. Koskela, B. Dave y R. Owen, «Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction,» *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 968-980, Septiembre 2010.
- [30] J. L. Ponz Tienda y J. S. Rojas Quintero, «Lean Construction,» de *Gerencia de Proyectos de Construcción*, Bogotá, 2015.
- [31] A. Mossman, «Last Planner,» 2013.
- [32] [workbreakdownstructure.com](http://www.workbreakdownstructure.com), s.f. [En línea]. Available: <http://www.workbreakdownstructure.com/>. [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [33] S. Abdul, V. Vamsi y V. Ranjith, «Application and analysis of Last Planner System in the Construction Industry,» *IMPACT: IJRET*, vol. 2, nº 6, pp. 33-44, JUNIO 2014.
- [34] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy y M. Luegring, «Site Implementation and Assessment of Lean Construction Techniques,» *Lean Construction Journal*, 2005.
- [35] P. Orihuela y K. Ulloa, «La planificación de las obras y el sistema Last Planner,» 2011.
- [36] B. Barría, «Universidad Tecnológica de Panamá,» 11 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://prezi.com/i8qrfyzbqvro/disen-basado-en-desempeno/>. [Último acceso: 04 Diciembre 2016].
- [37] M. Sands, «Standards and Measures - Whole building Metrics Driving Innovation and High Performance,» *Lean Construction Journal*, pp. 1-16, 2010.
- [38] D. Murgía, «Lean Construction Institute Perú,» s.f.. [En línea]. Available: <http://www.leanperu.com.pe/index.php/biblioteca/publicaciones/130-tecnologias-bim-y-lean-construction>. [Último acceso: 04 Diciembre 2016].
- [39] A. Khanzode, M. Fischer, D. Reed y G. Ballard, «A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process,» 2006.

- [40] A. Mossman, «TheChangeBusiness,» 2008. [En línea]. Available: http://www.thechangebusiness.co.uk/TCB/Lean_Construction_files/What-is-Integrated-Project-Delivery2.pdf. [Último acceso: 05 Diciembre 2016].
- [41] Berkeley University, s.f.. [En línea]. Available: <http://p2sl.berkeley.edu/research/initiatives/target-value-design/>. [Último acceso: 05 Diciembre 2016].
- [42] M. C. Niño y J. A. González, «18 empresas colombianas reconocidas como líderes en Lean Construction,» *Comunicados.co* *Comunicados.co*, 20 Mayo 2015.
- [43] L. Botero, «Diez años de implementación Lean en Colombia: Logros y dificultades,» de *Seminario Internacional Innovación y Gestión de la Construcción*, Medellín, 2016.
- [44] APMG, s.f.. [En línea]. Available: <http://www.apmg-international.com/en/home.aspx>. [Último acceso: 27 Octubre 2016].
- [45] Project-Tools, s.f.. [En línea]. Available: <https://projecttools.wordpress.com/modelos-de-madurez-en-gestion-de-proyectos/>. [Último acceso: 27 Octubre 2016].
- [46] T. De Bruin, R. Freeze, U. Kaulkarni y M. Rosemann, «Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model,» de *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*, 2005.
- [47] Hsu & Sandford, «The Delphi Technique: Making Sense Of Consensus,» *Practical Assessment, Research & Evaluation*, vol. 12, Agosto 2007.
- [48] A. Perez, 05 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.ceolevel.com/que-es-el-diagrama-ishikawa-y-para-que-sirve>. [Último acceso: 17 Octubre 2016].
- [49] AUTODESK BIM 360º Plan, 28 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/bim-360-plan/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BIM-360-Plan-Help/files/GUID-214EF889-5C49-4F3C-8195-AA8D6BB4DFD5-htm.html>. [Último acceso: 17 Octubre 2016].
- [50] Marcela Vera, «UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA –SECCIONAL BUCARAMANGA Revista Digital Apuntes de Investigación | ISSN: 2248-7875 Vol 5 – Enero 2013 Disponible en: http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/LINEA_DE_BALANCE_APLICADA_A_PROYECTOS_DE_CONSTRUCCION».
- [51] D. McNell, H. Allison, W. Black, M. Cukrow, K. Harrison, T. Hutchins, C. Sherred, M. Shirley, R. Singh y D. Wilts, «InfoComm,» s.f.. [En línea]. Available:

http://www.infocomm.org/cps/rde/xbcr/infocomm/Brochure_BIM.pdf. [Último acceso: 04 Diciembre 2016].

[52] H. Macomber y J. Barberio, 2007. [En línea]. Available:

<http://www.leanconstruction.org/media/docs/3-Target-Value-Design-LPC.pdf>. [Último acceso: 05 Diciembre 2016].