

**Herramientas Lean Construction, para la reducción de pérdidas en proyectos de
construcción**

Jeison David Molano Florez

Heiner Martín Páez Gaona

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Guillermo Mejía Aguilar

PhD. en Ingeniería de la Construcción

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

Los autores expresan agradecimiento al grupo de investigación de Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, cuyos aportes brindaron las bases para que este proyecto se llevase a cabo, de igual manera se agradece a los investigadores Guillermo Mejía Aguilar y Omar Giovanny Sánchez por guiarnos durante la realización del mismo.

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco Teórico.....	14
1.1 Lean Construction.....	14
1.2 BIM (Building Information Modeling).....	15
1.3 Realidad virtual	16
1.4 Fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción	17
1.4.1 Planeación.	17
1.4.2 Construcción.	17
1.4.3 Operación.	18
1.4.4 Demolición.....	18
1.5 Pérdidas en proyectos de construcción	19
2. Metodología	20
2.1 Búsqueda y selección de documentos.....	20
2.2 Definición de criterios de inclusión y exclusión de documentos.....	20
2.3 Clasificación de documentos	23
2.4 Elaboración del mapa mental.....	23
2.5 Lectura de documentos	24
2.6 Consolidación de la información	24

2.7 Identificación de las herramientas Lean Construction.....	24
2.8 Descripción de los principios y aplicaciones de las herramientas	24
2.9 Clasificación de las herramientas según fase de ciclo de vida de un proyecto constructivo ..	25
2.10 Redacción de informe final.....	25
3. Resultados y Discusión.....	25
3.1 Herramientas Lean Construction	25
3.1.1 Sistema del último planificador.	25
3.1.2 Gestión visual.....	28
3.1.3 Estructuración de trabajos.....	30
3.1.4 Sistema 5s.	30
3.1.5 Prefabricación y modularización.	32
3.1.6 Justo a tiempo (JIT).	33
3.1.7 Tiempo de planificación Takt.	35
3.1.8 Mapeo de flujo de valor (VSM).....	36
3.1.9 Kanbans.....	38
3.1.10 Procesos de operación estándar (SOPS).	38
3.2 Clasificación de las herramientas Lean Construction en las fases de un proyecto de construcción	40
3.3 Sinergias entre las herramientas Lean Construction y BIM	41
3.4 Realidad virtual y Lean Construction	42
4. Conclusiones.....	44
Referencias Bibliográficas	46

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Diagrama sistemático de la metodología	22
<i>Figura 2.</i> Distribución de los recursos bibliográficos por año.	23
<i>Figura 3.</i> Marco sugerido para la implementación del LPS en la construcción. Fuente: Farrok Hamzeh.	28
<i>Figura 4.</i> Secuencia del sistema 5s.....	31
<i>Figura 5.</i> Fases para el proceso que resulta en la identificación de un tiempo takt.	36
<i>Figura 6.</i> Porcentaje de aplicación en ciclos de un proyecto de construcción.	40

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Resultados de búsqueda en las bases de datos.</i>	21
Tabla 2. <i>Desafíos al implementar el sistema LPS.</i>	26
Tabla 3. <i>Pasos para implementar el VSM</i>	37
Tabla 4. <i>Clasificación de las herramientas Lean Construction según las fases del ciclo de un proyecto de construcción.</i>	41

Resumen

Título: Herramientas Lean Construction, para la reducción de pérdidas en proyectos de construcción*

Autores: Jeison David Molano Florez
Heiner Martín Páez Gaona**

Palabras Clave: Lean Construction, Bim, realidad virtual, fases de construcción, proyecto de construcción.

En la industria de la construcción es muy común observar sobrecostos debido a los desperdicios, la ejecución deficiente de los proyectos y los retrasos en los tiempos de entrega, además del movimiento no útil de personal que para ninguna empresa es rentable ya que genera millonarias pérdidas, es por eso que siempre se busca reducir estos inconvenientes trabajando diferentes alternativas que los mitiguen o eliminen de una u otra forma, es entonces, donde aparece Lean Construction como una opción en la que, junto con varias herramientas se logran minimizar estos problemas en un alto porcentaje, además de generar valor agregado al producto final. A través de una búsqueda realizada en varias bases de datos, entre ellas Scopus, Elsevier, teniendo en cuenta ciertos criterios de selección sobre la información requerida para entender de alguna manera cómo funciona la filosofía Lean y que beneficios trae su aplicación óptima en la industria de la construcción y luego de una lectura exhaustiva de aquella información que no fue descartada, se lograron encontrar varias herramientas Lean Construction aplicables a cada uno de las fases que comprende un ciclo de un proyecto de construcción, que en conjunto con herramientas de Building Information Modeling (BIM) y de realidad virtual mejoran los procesos y minimizan los sobrecostos generados durante su ejecución.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director:

Abstract

Title: Lean Construction tools, for the reduction of losses in construction projects*

Authors: Jeison David Molano Florez
Heiner Martín Páez Gaona**

Keywords: Lean Construction, Bim, virtual reality, construction phases, construction project.

In the construction industry it is very common to see cost overruns due to waste, poor execution of projects and delays in delivery times, in addition to the useless movement of personnel that for any company is profitable because it generates millions in losses, that is why we always seek to reduce these disadvantages by working with different alternatives that mitigate or eliminate them in one way or another, that is, where Lean Construction appears as an option in which, together with several tools, these problems can be minimized in a high percentage, in addition to generating added value to the final product. Through a search conducted in several databases, including Scopus, Elsevier, taking into account certain selection criteria on the information required to understand in some way how the Lean philosophy works and what benefits its optimal application in the industry the construction and after an exhaustive reading of that information that was not discarded, we were able to find several Lean Construction tools applicable to each of the phases that comprise a cycle of a construction project, which together with Building Information Modeling tools (BIM) and virtual reality improve processes and minimize the cost overruns generated during its execution.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director:

Introducción

En la actualidad los proyectos de construcción han tomado gran importancia, debido a que, en los últimos años la situación económica del país ha venido mejorando, esto deriva en generar más interés en los diferentes tipos de construcciones, puesto que, ha incentivado a las empresas constructoras a interesarse cada vez más por desarrollar diferentes tipos de proyectos de construcción (García Díaz, 2012), minimizando costos, pérdidas y tiempo aplicado en la realización de los mismos, ya que, las demoras en la entrega se ve reflejado en sobrecostos, bajos niveles de productividad, retrasos en la programación de obra y reducción del margen de utilidad (Alarcón Cárdenas & Pellicer Armiñana, 2009).

Se ha llegado a demostrar que, sí se llegase a construir un proyecto integrado por tres elementos, el tercero se haría con el desperdicio generado por los otros dos, ya que este, es tal que constituirá un 30% del costo total, este ejemplo enseña la importancia de cómo se puede implementar la filosofía de Lean Construction en la aplicabilidad de diferentes tipos de proyectos (Martínez, González, & Da Fonseca, 2009). Como lo denota la anterior explicación, las empresas encargadas de la construcción de proyectos se ven obligadas a satisfacer las necesidades que se presentan, lo cual resalta la complejidad en el control de los proyectos, ya que con el pasar del tiempo, se busca hacer proyectos más grandes con el fin de obtener la mayor utilidad posible (Porras Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Al incrementar la dificultad de los proyectos se hace más complicado su control y ejecución, esto se ve evidenciado y reflejado en cronogramas atrasados, pérdidas de tiempo demasiado

grandes, incrementos en las cantidades inicialmente calculadas y presupuestadas, pago de horas extras para poder cumplir los tiempos de entrega que se planificaron en el cronograma, diseños mal ejecutados, insatisfacción del personal por sus condiciones de trabajo y de los compradores al recibir su proyecto, todo lo anterior tiene su impacto en la utilidad del mismo, por ende es eficaz trabajar con los diferentes tipos de herramientas que ofrece Lean Construction (Sacks, Treckmann, & Rozenfeld, 2009).

De esta manera se pretende mejorar los procesos de planificación de los proyectos por medio de la aplicación de esta nueva metodología llamada Lean Construction, pero es necesario denotar cuáles son sus beneficios por medio de las herramientas que se utilizan en esta metodología, también como su aplicación es beneficiosa en los diferentes ciclos de vida de los proyectos de construcción como los son (Planeación, Construcción, Operación, Demolición), así poder impactar positivamente en la ejecución de cada ciclo, por esta razón se quiere estudiar y analizar ¿cómo con la aplicación de Lean Construction se obtendrán proyectos más rentables y clientes satisfechos? (Merino Chévez, 2015).

Por eso bajo los principios Lean Construction de mejora continua y creación de valor agregado y en vista de que en cuanto a las herramientas que posee se conoce muy poco y su implementación en la industria de la construcción aún esta puesta a prueba, se realiza una recopilación de la información que de una u otra manera explica el funcionamiento de las mismas y en qué fases del ciclo de un proyecto de vida podrían emplearse para tener un mejor resultado, puesto que su aplicación tiene ciertas dificultades y obstáculos que generan incertidumbre en sí se debería optar o no por su ejecución en los proyectos de construcción, además de los beneficios que pueden obtenerse al aplicarse en conjunto con las herramientas de modelado de información (BIM) y realidad virtual.

1. Marco Teórico

1.1 Lean Construction

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 si lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos (Porras Díaz et al., 2014). Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva, la propuesta del concepto de producción de la filosofía Lean es observarla como una transformación de materiales, un flujo de recursos, una generación de valor (B Dave, Kubler, Framling, & Koskela, 2010). La filosofía para la construcción Lean Construction está basada en Lean Production (Ilozor & Kelly, 2012), un sistema de fabricación, diseñado para minimizar el despilfarro y agregar valor sistemáticamente en el proceso de manufactura (Tauriainen, Marttinen, Dave, & Koskela, 2016).

Con la idea básica de producción que se plantea en la filosofía LC (Lean Construction) se tiene por objetivo diseñar sistemas de producción para minimizar o eliminar el desperdicio de materiales y la excesiva producción de residuos, con el fin de generar la cantidad máxima de valor (Khanzode, Fischer, & Reed, 2008). En la filosofía LC la planificación y el control son procesos complementarios y dinámicos, en donde la planificación define los criterios, crea las estrategias

necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto y el control se asegura de que cada evento, se producirá después de la secuencia prevista (Khemlani L. (March 6, 2006).

Lean Construction ha sido implementada con éxito en algunos países del mundo desde 1993. Grupos como el Lean Construction Institute, Internacional (Group For Lean Construction) conformados por una red de investigadores y profesionales en la arquitectura, ingeniería y construcción, plantean que la educación, práctica e investigación en estos campos, debe ser renovada con nuevos conceptos para responder a los desafíos que el nuevo mercado impone (Small, Al Hamouri, & Al Hamouri, 2017).

1.2 BIM (Building Information Modeling)

El sistema BIM se puede definir como una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación, ofreciendo una cantidad de beneficios para los diferentes proyectos de las partes: contratista, ingeniero y propietario (Marzouk & Abdel Aty, 2012). BIM proporciona la base para nuevas capacidades de construcción y cambios en los roles y las relaciones entre un equipo de proyecto; cuando BIM se implementa apropiadamente facilita el proceso de diseño y construcción que resulta en una mejor calidad del proyecto, donde se ve reflejada la reducción de costos y de igual forma la duración del proyecto (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010).

BIM no es sólo una herramienta, más bien se podría definir como un proceso, una tecnología de modelado y conjunto de técnicas para producir, comunicar, asociar y analizar los modelos de construcción (Rossetti & Antoniol, 2013). BIM es una demostración de todo el ciclo de vida de la construcción que permite redefinir el alcance de trabajo, generar esquemas de diseño de alta calidad tridimensional (3D), el apoyo de cuatro dimensiones (4D) de programación y cinco

dimensiones (5D) de estimación de costos, y optimizar la gestión de instalaciones y mantenimiento (Shou, Wang, Wang, & Chong, 2015).

BIM es visto como un enfoque emergente que le ayudará a la industria de la construcción en la consecución de los objetivos de Lean Construction, eliminación de pérdidas, reducción de costos, mejora de la productividad de los equipos de trabajo y resultados positivos para el proyecto (Tauriainen et al., 2016). BIM opera en tiempo real con la disponibilidad continua de diseño del proyecto, alcance, cronograma, y la información de costos que debe ser de alta calidad, fiable, integrada y totalmente coordinada (Porras D., Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

1.3 Realidad virtual

La RV comprende la interface hombre-máquina (human-machine), que permite al usuario sumergirse en una simulación gráfica 3D generada por ordenador, y navegar e interactuar en ella en tiempo real, desde una perspectiva centrada en el usuario. La RV es una experiencia sintética mediante la cual se pretende que el usuario sustituya la realidad física por un entorno ficticio generado por ordenador. “La RV es lo más parecido que tenemos a la Máquina del Tiempo, en tanto que nos permite recrear virtualmente cualquier tipo de espacio en tres dimensiones y situarlo en cualquier época, incluso en el futuro, con un grado de realismo completamente creíble”(Pérez Martínez, 2011).

1.4 Fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción

Los proyectos constructivos se dividen en fases con objeto de facilitar su gestión, mejorar el control, y mantener el proyecto alineado con los objetivos. Cada una de las fases del proyecto culmina con la realización de uno o varios entregables (plan de negocio, especificación, documento de diseño preliminar, plan de pruebas). Las fases suelen tomar el nombre de alguno de sus entregables (por ejemplo, fase de planeación, fase de construcción, fase de operación y fase de demolición). Además, cada una de las fases puede considerarse como un subproyecto en sí mismo con fases específicas diferenciadas (ProManagers & CE, 2012). Las fases suelen tomar el nombre de alguno de sus entregables (por ejemplo, fase de planeación, fase de construcción, fase de operación y fase de demolición). Además, cada una de las fases puede considerarse como un subproyecto en sí mismo con fases específicas diferenciadas (Ecured, 2007).

1.4.1 Planeación. Esta fase comienza a partir de la identificación de una idea que tiene el potencial de convertirse en un nuevo proyecto constructivo dentro de la organización. Esta idea puede ser una necesidad, una solución original para resolver un problema, una oportunidad o amenaza del entorno, una nueva regulación que es preciso implantar, el desarrollo de una tecnología que pueda dar lugar a una ventaja competitiva (Anciano, n.d.).

1.4.2 Construcción. Una vez tomada la decisión de iniciar el proyecto constructivo, la primera actividad que debe realizar el director de proyecto es constituir el equipo de proyecto. En el caso de grandes proyectos esta actividad comenzará en la fase de definición anterior, ya que el trabajo a realizar puede ser considerable debido a la dimensión del proyecto, constituyendo la fase de

definición o viabilidad de un proyecto en sí misma y así poder tener un buen dimensionamiento en esta etapa (María & Albis, n.d.).

1.4.3 Operación. Es la fase dedicada a comprobar que todo lo planeado funciona de acuerdo con el diseño y está operativo. Si todos los trabajos se han ejecutado correctamente, este momento sería el de verificar que el proyecto ha sido un éxito. Esta etapa es la destinada a hacer efectivo el ajuste que se precisa para colmar las expectativas del cliente, una alineación que ha de llevarse a cabo a través de la ingeniería. Al igual que las fases anteriores, esta fase debe ser planificada asignándole un plazo de ejecución determinado, ya que no es anormal que su costo y duración supere con creces a las de las fases anteriores para el tipo de proyectos considerado. Esta fase es más importante de lo que a primera vista pueda parecer y de hecho muchos proyectos fallan en esta fase, cuando ya se ha invertido una gran parte del presupuesto del proyecto (Hurtado & Lisste Morales, 2016).

1.4.4 Demolición. Demolición es el proceso mediante el cual se procede a tirar abajo o destruir de manera planificada un edificio o construcción en pie. La demolición también se distingue de otras acciones como el derrumbe ya que es un proceso programado y planificado en el ciclo de vida del proyecto constructivo de acuerdo con las necesidades y cuidados específicos de cada caso. La demolición puede realizarse con diferentes objetivos: construir nuevas edificaciones, liberar el espacio para hacer espacios verdes, eliminar construcciones antiguas y peligrosas. Todas ellas son parte de lo que se conoce como urbanismo o planificación urbana, esta es la fase final del ciclo constructivo (Martínez & Florez, 2012).

1.5 Pérdidas en proyectos de construcción

Se consideran pérdidas en proyectos de construcción, todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto (Fernando, Botero, Eugenia, & Villa, 2003). Ejemplos de pérdidas en los procesos de la construcción son las esperas ocasionadas por falta de instrucción, de materiales, de interferencias, etc.; transportes innecesarios de materiales, equipos y obreros, por mala distribución de los recursos o ausencia de planificación; tiempo ocioso por actitudes del trabajador; reproceso por actividades mal ejecutadas o dañadas por otras cuadrillas de trabajo, entre otras (CIFE, 2007).

La medición del desempeño actual del sistema de producción se convierte en punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas en la construcción, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo (Araque Gonzales, 2010). Encuestas de demoras y cartas de balance de cuadrillas, han sido utilizadas como medida indirecta de la productividad, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad (Añazco Campoverde & Sánchez Buri, 2010).

2. Metodología

2.1 Búsqueda y selección de documentos

Se realizó una búsqueda en bases de datos, información en varios documentos, que son necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación artículos, libros y demás complementos que pudiesen aportar conocimiento sobre el tema. Las bases investigadas fueron: Scopus, Elsevier, Ice, Asce, Web Science.

2.2 Definición de criterios de inclusión y exclusión de documentos

En este proceso se tuvieron en cuenta los diferentes ítems que llevaron a concluir que documentos y archivos son necesarios para el desarrollo correcto sobre la investigación, de la misma manera se excluyeron los que no abarcan un conocimiento funcional sobre el tema. Realizando una búsqueda en la base de datos por medio de palabras clave, autores y años para así definir cuáles son de utilidad.

Tabla 1.

Resultados de búsqueda en las bases de datos.

Filtro de Búsqueda	Número de documentos
Lean Construction and Bim	147
Lean Construction and Virtual Reality	7
Lean Construction and demolition	2
Lean Construction and operation	140
Lean construction and planning	345

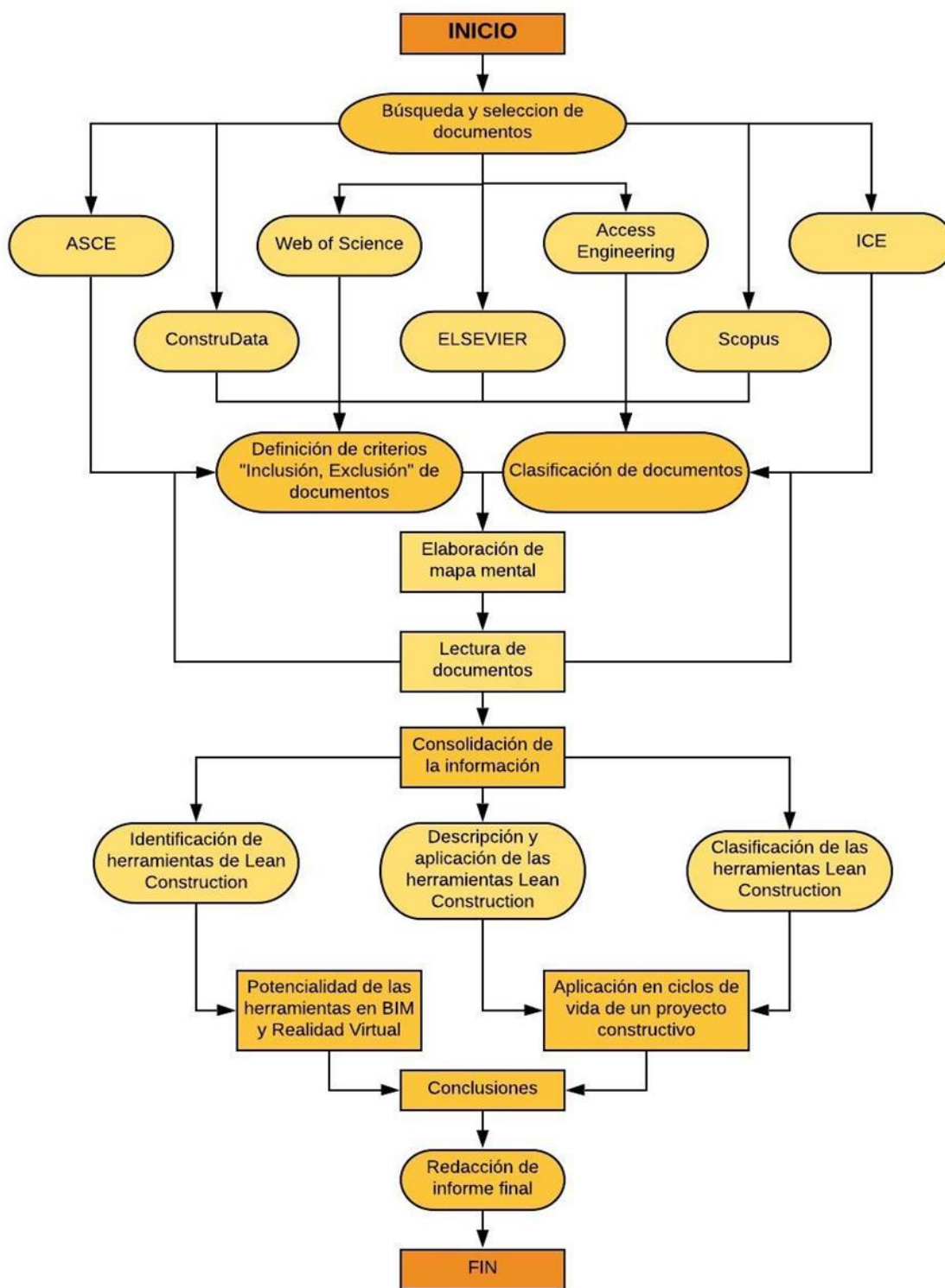


Figura 1. Diagrama sistemático de la metodología

2.3 Clasificación de documentos

En este periodo se ordenaron y clasificaron los documentos de una forma clara para así saber cuáles archivos sirven en una determinada área o tarea específica, además se clasificó el número de documentos por año para poder visualizarlos en cada etapa del ciclo de vida de un proyecto, de la misma manera se clasificaron las sinergias entre Lean-Bim y Lean-Realidad Virtual.

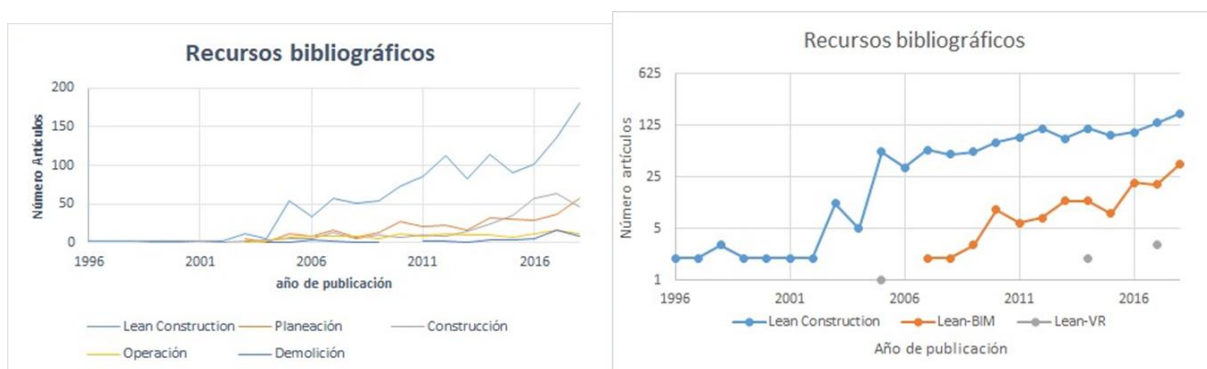


Figura 2. Distribución de los recursos bibliográficos por año.

2.4 Elaboración del mapa mental

Esta etapa consiste en la eficacia al extraer y memorizar información sobre los documentos. Por ende, fue una forma lógica y creativa de tomar notas, expresar ideas consistentes y literales para desarrollar conclusiones sobre el tema, para este proceso se decidió realizar lecturas en donde se encontraron un número determinado de herramientas Lean las cuales fueron buscadas y clasificadas gracias a la base de datos, para su posterior lectura.

2.5 Lectura de documentos

Este proceso conlleva a un análisis de la información ya seleccionada y clasificada para así obtener y afianzar el conocimiento sobre el tema a investigar, el método que se utilizó para realizar la lectura y su posterior entendimiento fue tomar los artículos y clasificarlos por medio de ideas que lleven a una descripción generalizada.

2.6 Consolidación de la información

Con esto se buscó dar forma a la información recolectada, una vez se ha descartado aquella que no es pertinente, garantizando solidez en la misma.

2.7 Identificación de las herramientas Lean Construction

Se realizó un análisis detallado de temas que conciernen al sistema Lean Construction, dando la posibilidad de poder identificar sus procesos y herramientas que dicho sistema nos facilitan.

2.8 Descripción de los principios y aplicaciones de las herramientas

Una vez identificadas las herramientas de Lean Construction, estas fueron analizadas con más detalle, esto para tener mayor conocimiento de lo que cada una significa y la utilidad que ofrece.

2.9 Clasificación de las herramientas según fase de ciclo de vida de un proyecto constructivo

Se realizó una clasificación que permitió una mayor eficiencia a la hora de emplear dichas herramientas en cada uno de los procesos que conforman un proyecto: planeación, construcción, operación y demolición.

2.10 Redacción de informe final

Se elaboró un informe donde se plasmó el estudio realizado, con las respectivas conclusiones obtenidas en el desarrollo del proceso de lectura.

3. Resultados y Discusión

3.1 Herramientas Lean Construction

3.1.1 Sistema del último planificador. Last Planner System (LPS), es una técnica que mejora la fiabilidad del flujo de trabajo a través de la participación de todos los miembros del equipo del proyecto (L. Zhang & Chen, 2016), pues no es solo un sistema para la producción, planificación y control, pues es además un facilitador para el intercambio social entre proyectos de construcción (Hamzeh, 2015), ya que, administra las relaciones, conversaciones y compromisos que conjuntamente permiten que las decisiones de planificación de producción y programas de los

proyectos de construcción se realicen de forma colaborativa al nivel más bajo posible (Castillo et al., 2018). Este sistema puede integrar de una forma más realista los procesos de construcción y la captura de valor en el proceso de planificación y control (Tezel, Koskela, & Aziz, 2017), con el aumento de la productividad y el trabajo continuo, permitiendo así, trasladar objetivos del proyecto a las actividades diarias (Latorre, 2018).

El LPS posee dos aspectos claves, el control de producción unitaria, el cual permite mejorar las asignaciones generando un aprendizaje constante y una mejora continua, y el control del flujo de trabajo entre las diferentes unidades estableciendo una programación a corto, mediano y largo plazo (Latorre, 2018). Las empresas de construcción han implementado herramientas lean en el nivel de las operaciones mediante el uso de la planificación semanal del trabajo a través del LPS, sin embargo, para implementarlo con éxito, la organización debe comprometerse a aprender, cambiar y centrarse en las personas y la filosofía y no sólo en el método (Hamzeh, 2015).

Ajustarse a los cambios siempre ha sido complicado y el hecho de incluir nuevas alternativas y pensamientos a la industria de la construcción termina por convertirse en un desafío y para el LPS no es la excepción, por lo general, se debe a la fuerte resistencia al cambio, falta de liderazgo, aceptación limitada por parte de los gerentes de los proyectos, la falta de experiencia y un plan de implementación (Hamzeh, 2015), la tabla 2 muestra los diferentes desafíos al implementar LPS.

Tabla 2.

Desafíos al implementar el sistema LPS

Desafíos de implementación	Desafíos del usuario
Falta de entrenamiento	Capital humano y falta de comprensión del sistema

Desafíos de implementación	Desafíos del usuario
Falta de liderazgo	Falta de compromiso y actitud hacia el sistema
Resistencia al cambio	Falta de colaboración del equipo
Apoyo de los interesados	Largo procedimiento de aprobación
Contratación y aspectos legales	Recursos adicionales
Implementación parcial y tardía del LPS	Integración Física

La implementación de la técnica permite la recopilación de indicadores clave de rendimiento, como el plan de porcentaje completado (PPC), descrito como una medida de proporción de actividades que se entregan a tiempo y se calcula en función del plan de trabajo semanal (WWP). El uso exitoso del LPS ha demostrado su capacidad para aumentar la confiabilidad de la planificación, aumentar el rendimiento de la producción y mejorar el flujo de trabajo en las operaciones de diseño y construcción (Perez, Ghosh, Perez, & Ghosh, 2018); la figura 3 enseña una idea de como se podría plantear el uso del LPS.

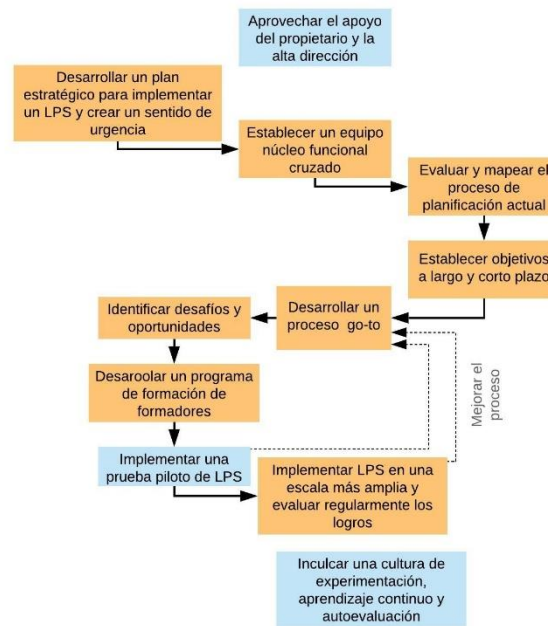


Figura 3. Marco sugerido para la implementación del LPS en la construcción. Fuente: Farrok Hamzeh.

3.1.2 Gestión visual. La gestión visual o Visual Management (VM) es una estrategia para el control de la organización, medición y mejora, que utiliza dispositivos visuales para exteriorizar información y mejorar la comunicación en el lugar de trabajo, haciendo que la información fácilmente accesible apoye los procesos que actúan de una manera intencionada (Brady et al., 2018). VM también es una estrategia de gestión de la información que está muy relacionada con uno de los conceptos fundamentales de la filosofía Lean Construction, el aumento de la transparencia del proceso. Vm es especialmente importante para apoyar la mejora continua y se basa en la transmisión eficaz de la información en los diferentes niveles jerárquicos, sin embargo, hay algunos desafíos en la implementación de esta en la construcción, cada proyecto de construcción es único, son entornos dinámicos y la construcción en sí podría llegar a ser una barrera visual (Brandalise, Valente, Viana, & Formoso, 2018).

El modelo de gestión Lean Construction (LCM), utiliza VM para mejorar la transparencia de los procesos de planificación y control en la construcción; VM utiliza dispositivos visuales para exteriorizar la información, haciendo que la información sea de fácil acceso. VM Proporciona claridad en la complejidad, apoya la mejora continua mediante la mejora de la capacidad para detectar problemas y corregirlos a tiempo por medio del desarrollo de herramientas visuales, estas herramientas proporcionan una forma física para hacer que el flujo de información sobre el trabajo planeado sea transparente, de manera que se facilita la comunicación entre los miembros del equipo de planificación y control en diferentes tareas (Brady et al., 2018). Por lo tanto, la implementación exitosa de las prácticas VM dependen de la forma en que las personas interactúen con los dispositivos visuales y cómo los procesos están diseñados o modificados debido a la ayuda de herramientas visuales (Brandalise et al., 2018).

VM tiene como objetivo crear un lugar de trabajo visual, en el que la transparencia del proceso, la capacidad de comunicación de los elementos del proceso, se mantiene a un alto nivel (Da Rocha, Tezel, Talebi, & Koskela, 2018). Podría decirse que, en la práctica de sistema de gestión visuales, ha sido posible crear tres tipos de respuestas: (1) Para las respuestas de base de habilidad, dispositivos visuales que desencadenan directamente la acción necesaria (como un reflejo) son los preferidos; (2) Para las respuestas basadas en reglas, se proporcionan las normas pertinentes para la inspección inmediata, muestra a través de pantallas de la elección un punto; (3) Para las respuestas basadas en el conocimiento, problema estandarizado métodos de resolución (Koskela, Tezel, & Tzortzopoulos, 2018). La gestión visual y sus aplicaciones en la construcción han mostrado resultados prometedores, por tanto, lo bien que pueden hacer frente a la maximización del valor en el contexto de la construcción (Patel, Karia, & Pandit, 2018).

El uso de la gestión visual en las obras de construcción está fuertemente ligado a una serie de principios de la filosofía Lean, donde involucra la transparencia aumento de procesos, reducción de la variabilidad y la mejora continua. Esta herramienta se encuentra dinámica, colaborativa y bien integrada en las rutinas y procesos de gestión, el apoyo a la toma de decisiones, cuanto más avanzado es una práctica VM pueden ser consideradas, siendo estas las razones detrás de la eficacia de los sistemas VM identificados (Brandalise et al., 2018). VM como una estrategia de comunicación visual constituye una parte fundamental de los despliegues de producción y Lean Construction, encontrándose que VM ha tomado algo de impulso recientemente en la cadena de suministro y mantenimiento de carreteras (Tezel & Aziz, 2017).

3.1.3 Estructuración de trabajos. Esta herramienta puede permitir que Lean Construction estructure el trabajo (LWS), que se ocupa de la selección y secuenciación de métodos de trabajo durante la etapa de diseño del producto. LWS está pensado para procesos de producción durante la etapa de diseño del producto (El-gafy & Abdelhamid, 1992). Varios niveles en las organizaciones del proyecto determinan la estructura del trabajo, la forma en que los límites se establecen entre las tareas, el diseño y la ubicación del proceso de producción de cada tarea y la suma de los productos resultantes en los proyectos terminados (Tsao, Tommeein, Swanlund, & Howel, 2005).

3.1.4 Sistema 5s. Este principio japonés tiene como objetivo principal mejorar continuamente los procesos de administración lean, reduciendo el desperdicio no deseado, además de optimizar la productividad y de esta manera obtener resultados consistentes (Houa, Haslinda, Muliati, Miri, & Rahim, 2018). 5s se emplea para conseguir que las oficinas o lugar de trabajo en las empresas

se encuentren ordenadas, limpias, generando un buen ambiente de trabajo, puesto que el aspecto de la misma influye en el desempeño y rendimiento de los trabajadores (Tezel et al., 2017).

La práctica 5s se ha extendido por varios sectores, iniciando en el sector manufacturero y proyectándose en otras industrias hasta convertirse en una estrategia de clase mundial (Gapp et al., 2017), debido a su eficacia en las organizaciones de fabricación y servicio en Japón y en varias empresas de mediana y gran escala ubicadas en la India y en el mundo occidental (Randhawa & Ahuja, 2017).

Aplicar esta práctica conlleva a las siguientes actividades: **Seiri** (organización) se limita a mantener sólo los elementos necesarios y esenciales; **seiton** (orden) elementos fácilmente alcanzables; **seiso** (limpieza) una idea preventiva para detectar problemas asegurando óptimas condiciones; **seiketsu** (estandarizar) lograr que cada miembro establezca las mejores prácticas y **shitsuke** (disciplina) una forma de lograr que el sistema se complete de manera formidable (Houa et al., 2018). Su cumplimiento debe estar sujeto a que la dirección de la empresa esté implicada, la aplicación de la misma debe ser zonificada con un personal comprometido y a quienes se les debe facilitar el material y herramientas necesarias para una adecuada implementación (Latorre, 2018).

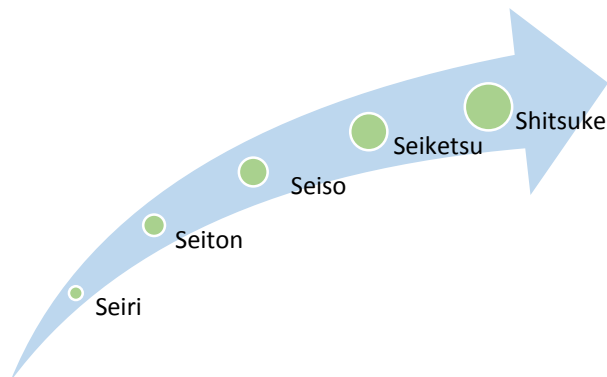


Figura 4. Secuencia del sistema 5s.

3.1.5 Prefabricación y modularización. La modularidad es una estrategia de diseño que es utilizada por las empresas productoras de productos no convencionales como los aviones, electrodomésticos, camiones, coches, ordenadores y software. El concepto consiste en dividir un complejo sistema en módulos desacoplados y manejables que son fáciles de poner juntos en un todo de trabajo. Prefabricación y montaje, es simplificar la instalación del sitio de montaje final y la puesta en servicio (Court, 2009). La modularización y la producción prefabricada en la construcción sin pérdidas son estrategias que tienen potenciales en el desarrollo de una estrategia efectiva con respecto a interiores climáticos, montaje, etc (Frier, Kirkegaard, & Fisker, n.d.).

a modularización también es un método o herramienta que contribuye a lograr una calidad consistente y permite a las empresas ofrecen una amplia gama de productos. Para la construcción fuera de sitio, la modularización es útil en la captura y en el equilibrio de los valores internos y externos, por tanto, la modularización parece tener un objetivo proactivo en la reducción de las pérdidas y un mejor control en los materiales y los flujos de información que puede ocurrir durante la producción. En la prefabricación, los valores de los clientes deben ser declarados antes de tiempo. Por lo tanto, cualquier cambio en el diseño puede causar una variación que conduce a retrasos en la producción; por ejemplo, para obtener un mejor control de la producción (Lennartsson & Stehn, n.d.).

La modularización puede desempeñar un papel muy importante en la fase de diseño. Sin embargo, es importante hacer hincapié en que la modularización no tiene el objetivo de controlar activamente la producción. Más bien, la modularización debe ser vista como un facilitador de la gestión de producción, ya que las variaciones esperadas pueden ser controladas. Se puede argumentar que la modularización se usa para el control de la producción en estas tres áreas (Lennartsson & Stehn, n.d.):

- **Modularidad del producto:** especifica el producto para que los materiales, componentes y otros recursos necesarios para la producción son conocidos y se pueden controlar.
- **Modularidad proceso:** se refiere a la gestión de la producción, el establecimiento y el control de los métodos de producción, es decir, cómo se hace el producto.
- **Modularidad cadena de suministro:** se refiere a que hacer, es decir, decide participantes involucrados así reparte responsabilidades, requisitos de entrega que son conocidos y pueden ser controlados y supervisados.

3.1.6 Justo a tiempo (JIT). Este es un método bien conocido de Lean desarrollado por Taichi Ohno, para la producción de lotes pequeños en el punto de la demanda alta de material. JIT es una técnica de tirar hacia adelante el trabajo de un proceso “just-in-time”, es decir, cuando el proceso siguiente también se usa para la entrega de los materiales a una obra de construcción, se sugiere lo necesita, en última instancia la producción de rendimiento. JIT en la construcción se encarga de que los materiales sean llevados a su ubicación para ser instalados inmediatamente sin incurrir en ningún retardo debido al almacenamiento en una deposición o área de operación (Rauch, Matt, Dallasega, Matt, & Dallasega, 2015).

EL objetivo último de la producción JIT es suministrar los materiales adecuados en el momento correcto y en l cantidad correcta en cada paso del proceso. Un beneficio de JIT es reducir el inventario en el proceso de trabajo en curso, reduce el capital y los tiempos de ciclo más cortos de producción de trabajo, ya que los materiales pasan menos tiempo en espera para ser procesados. Los estudios de logística muestran que un incremento sustancial en la productividad se puede obtener mediante la entrega de los materiales de construcción en las condiciones establecidas por el sitio de construcción, es decir, justo a tiempo (Rauch et al., 2015). La idea básica es suplir la

necesidad de productos sólo cuando sea necesario de acuerdo a la cantidad necesaria (Huang & Yang, 2012).

La distribución Just-In-Time se encarga de distribuir el producto o servicio a los clientes de acuerdo a las necesidades de los mismos en la acción mínima de tiempo (Zhongfu & Jianshuang, 2008). JIT no son sólo métodos de gestión de inventario, sino también un sistema de producción. Su idea central es producir productos necesarios, sólo cuando sea necesario, de acuerdo con la cantidad necesaria (Huang & Yang, 2012).

EL just in time se ajusta a sus características específicas, ya sea el método de construcción, el equipo o los materiales a utilizar. Esto provoca un desafío adicional a los intentos de estandarización, creando un flujo de trabajo continuo de gestión de recursos, compras y logística. A menudo el pleno conocimiento de los materiales a ser utilizados sólo se alcanza durante el proceso de producción en sí, este busca mejorar la productividad y lograr un buen desempeño económico, aumentando al mismo tiempo el valor del cliente y el beneficio para la empresa; con respecto a la gestión de los recursos, se encontró que la atención había sido colocada en la reducción del tamaño de las poblaciones, que tiende a un enfoque JIT (Pereira & Cachadinha, 2011).

La alta necesidad de entrega puntual de partes para con esto evitar retrasos en el proceso de construcción y por medio de la revisión a la literatura se demuestra que justo a tiempo es la mejor opción de entrega del material puesto en obra esto es cada vez más importante. Sin embargo, las entregas JIT son a menudo difíciles de realizar y por lo general están asociadas con el inventario en el taller de fabricación o en el sitio de construcción (Rauch et al., 2015). Bajo la dirección del JIT, los trabajadores están plenamente capacitados para ejecutar el plan para que puedan completar

el trabajo necesario en el tiempo necesario y en gran medida mejorar la ejecución del plan (Huang & Yang, 2012).

3.1.7 Tiempo de planificación Takt. El método takt time planning (tiempo de planificación takt) se emplea en la filosofía lean para apoyar el proceso de construcción reduciendo los desperdicios y aumentando la producción (Binninger, Dlouhy, Schattmann, & Haghsheno, 2018). La aplicación del takt en un proceso se explica como takting, haciendo referencia a la unidad de tiempo dentro de la cual se puede producir un producto (tasa de suministro) para que coincida con la tasa a la que se necesita (demanda) y matemáticamente hablando se podría definir como (Chauhan, Peltokorpi, & Berghede, 2018):

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ de\ trabajo\ neto\ disponible}{Demanda\ del\ cliente\ en\ ese\ tiempo}$$

Introducir el Takt time en la construcción significa pasar de duraciones de tareas dispares para cada operación en una secuencia a una duración de tarea consistente para cada operación, manteniendo una tasa de producción que cumpla con el programa maestro, y para llevarlo a cabo se requiere dividir el proyecto en áreas físicas (zonas), identificando en cada una de ellas el alcance y sus medios de trabajo (Frandsen, Berghede, & Tommelein, n.d.). La figura 5 ilustra el proceso para desarrollar un TTP empleado en la planificación de la producción.

Hoy en día, además de su uso en la industria manufacturera, el takt time se emplea en varios procesos de construcción tales como: puentes (método de lanzamiento incremental), construcción subterránea (paredes ranuradas con rodadura de pilger), construcción de túneles y la excavación (Haghsheno, Binninger, Dlouhy, & Sterlike, 2016). En la construcción, el objetivo de takt time planning (TTP) ha sido proporcionar un flujo de trabajo equilibrado para los oficios, disminuyendo los tiempos de ciclo (Chauhan et al., 2018), tanto así, que existen proyectos que han reducido en

un 20% su duración, además, en un estudio de caso realizado por Frandson se observó que el proyecto de construcción logró completarse en cinco meses cuando lo habitual es un periodo de 11 meses, ahorrando un 55% de tiempo de duración (Binninger et al., 2018).

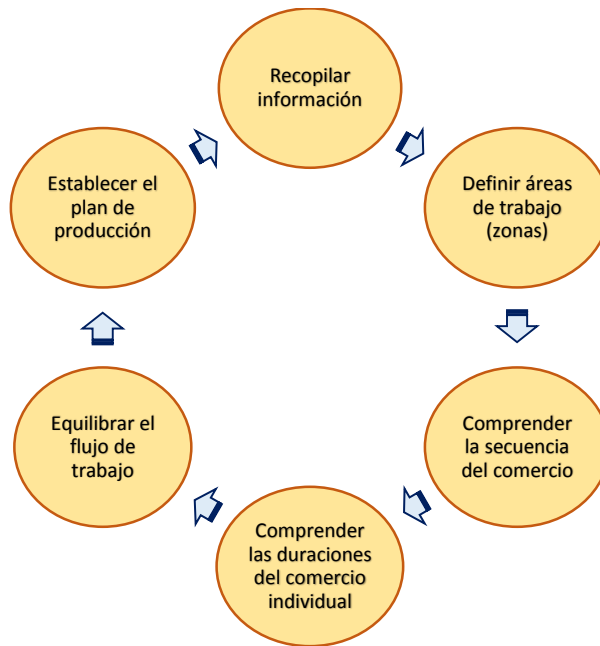


Figura 5. Fases para el proceso que resulta en la identificación de un tiempo takt.

3.1.8 Mapeo de flujo de valor (VSM). En esencia, el VSM es una técnica que representa visualmente el proceso actual en términos de flujo físico de materiales y como los procesos crean valor para el cliente; los pasos clave se muestran en un diagrama, junto con datos detallados como la calidad y el tiempo de entrega (Alaa, Shaiful, Zain, & Malek, 2018). VSM ha demostrado ser una herramienta adecuada para rediseñar los sistemas de producción (Lasa, 2008), la idea es elaborar una representación confiable del estado actual y establecer un diagnóstico analizando el mapa y detectando las fuentes de residuos (actividades que no agregan valor) (Rosenbaum, Toledo, Ph, González, & Ph, 2014).

Los resultados que puede ofrecer el empleo de VSM son bastante alentadores en términos de obtener una mejora simultánea del rendimiento ambiental y de producción, debido a, que puede actuar de manera sistemática sobre las fuentes de residuos: sobreproducción, inventarios, errores y defectos, espera, movimiento y transporte, sobreprocesamiento y personas subutilizadas. La información clave en un VSM es el flujo de material de los proveedores a los clientes y el flujo de información de los clientes a los proveedores, la tabla 3 muestra los pasos que implica la aplicación de un VSM (Pavnaskar & Gershenson, 2016).

Tabla 3.

Pasos para implementar el VSM

Pasos			Descripción
1)	Seleccionar el alcance para el mapeo.	el	Se sugiere varios niveles para dibujar el VSM a través de empresas, plantas, procesos de una planta.
2)	Mapa de estado actual		Se dibuja un mapa del estado actual para una familia de productos en particular, desde el final del cliente hasta el final del proceso del proveedor.
3)	Mapa de estado futuro		La clave para diseñar el estado futuro es hacer que los materiales y la información fluyan sin paradas, retrasos o espera.
4)	Plan de implementación	de	Debe indentificar tareas específicas a realizar para avanzar hacia el estado futuro deseado.
5)	Mejora continua		Cuando se alcanza el estado futuro deseado, este se convierte en el nuevo estado actual.

3.1.9 Kanbans. Los kanbans son tarjetas, cajas o señales utilizadas para indicar la necesidad de un recurso. Las empresas con desarrollo Lean han utilizado tarjetas como una indicación de los materiales necesarios. Cada tarjeta es un color que indica un material diferente. Hay diferentes formas de kanbans utilizado por las empresas (Da Alves, Barros Neto, Heineck, Kemmer, & Pereira, n.d.). Los kanbans sirven para utilizar los procesos de aprendizaje en trabajadores de la construcción cuando se interactúa con los nuevos conocimientos en la ejecución de mampostería estructural en un ambiente sin pérdidas específicamente en el control de producción de mortero se estableció a través del uso de kanban (Barreto & Heineck, n.d.).

Un ejemplo es SwitKanban, el mejor y más potente software visual kanban que permite la gestión visual, optimiza el flujo de trabajo y ofrece productos con mayor rapidez. La comunicación y la colaboración con diferentes partes de producción, análisis y seguimiento del rendimiento son algunas de las muchas características ofrecidas por SwiftKanban (Ghossaini, Dehaini, Alruzz, Fakhr, & Hamzeh, 2020). Además, es un sistema de Kanban basado en Internet para optimizar las entregas, minimizar los tiempos de ciclo, reduce el tiempo de inactividad de los recursos y el uso de la robótica de construcción para reemplazar la necesidad de mano de obra (Goh & Goh, 2019).

Otro ejemplo útil para la descripción de Kanban es la cadena de suministro esta es la simulación por medios de transporte, mezcla, mezclan en planta, área de descanso y las posibles rutas. Además, un temporizador central, cronómetros, son necesarias o validos como tarjetas de juego (Kanban) (Von Heyl, 2016).

3.1.10 Procesos de operación estándar (SOPS). Procedimientos Operativos Estándar (SOP) son un conjunto de instrucciones que regulan los procesos administrativos con respecto a cuándo y cómo hacerlo, dónde y por quién. El objetivo de (SOP) es unificar las percepciones de las partes

involucradas para tener una mejor comprensión de las tareas a realizar. SOP, como un componente importante del sistema de gestión de calidad, será de gran ayuda para fortalecer la transparencia y reducir los errores en la ejecución de los procedimientos, así como mejorar la eficiencia y la calidad del servicio mediante la reducción del nivel de error y la incertidumbre (Machfudiyanto, Latief, Soepandji, & Anggia, 2018). El procedimiento operativo estándar (SOP) también es el aspecto más importante para ayudar a la empresa a evaluar más de lo que lo hacen, también ayudar a la empresa para decidir cómo seguir adelante. Tener un procedimiento operativo estándar agiliza el proceso y la gestión para lograr más en el tiempo de producción, el costo también se ve optimizando en los procesos de negocio de devolución de materiales (Intani Budiawati & Sarno, 2018).

SOP ayudará a las empresas a controlar sus actividades operacionales. Desarrollo de procedimientos operativos estándar (POE) en la planificación, implementación, mantenimiento y supervisión contra el despilfarro del presupuesto. Se utilizarán como guía para las actividades de mantenimiento, planificación, ejecución y supervisión de los trabajos de mantenimiento en los edificios (Machfudiyanto et al., 2018). Tales procedimientos operativos estándar (SOP) son una parte integral de operaciones en plantas industriales modernas. Los errores humanos durante las transiciones SOP han producido situaciones anormales que van desde correcciones rápidas de accidentes graves que derivan en pérdidas económicas anuales a las industrias del petróleo y químicas (Fang, Rasel, Richmond, Smith, & Engineering, 2017).

Hay varias implicaciones y riesgos al aplicar SOP. La falta de especialidad dará la oportunidad al personal involucrado en este proceso para anular el procedimiento. Ellos podrían saltar varios procesos, y esta situación puede conducir a errores básicos que pueden afectar el desempeño de la empresa (Karim, Nawawi, & Puteh Salin, 2017).

3.2 Clasificación de las herramientas Lean Construction en las fases de un proyecto de construcción

Una correcta implementación de cada una de las herramientas Lean Construction, sin duda alguna, optimizarán de manera más efectiva los proyectos de construcción, reduciendo al máximo los desperdicios y aquellas actividades que no generan valor alguno al producto final; para ello, se requiere saber en qué fase del ciclo de vida de un proyecto es importante tener en cuenta cierta herramienta y así poder implementar más de una con el propósito de mejorar la producción. De acuerdo al análisis realizado en la tabla 3 se puede observar dicha clasificación, en la cual se puede apreciar a ciertas herramientas que se pueden emplear en varias fases con una mayor participación en la etapa de planeación como se muestra en la figura 6.

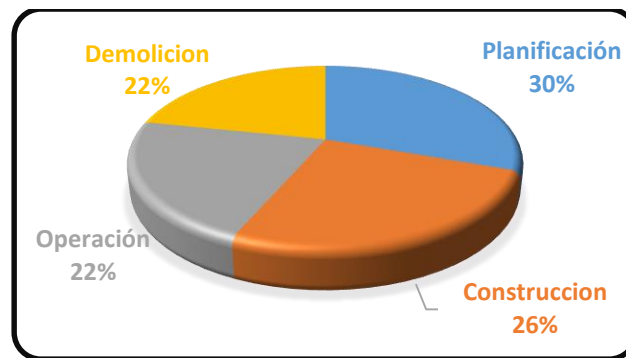


Figura 6. Porcentaje de aplicación en ciclos de un proyecto de construcción.

Tabla 4.

Clasificación de las herramientas Lean Construction según las fases del ciclo de un proyecto de construcción.

	N° herramientas	Herramienta
Planificación	7	1, 2,3,4,5,6,7
Construcción	6	1,6,7,8,9,10
Operación	5	2,3,6,8,10
Demolición	5	4,5,6,8,9

ID	Herramientas Lean Construction
1	Sistema del último planificador (Last Planner System) LPS
2	Manejo visual
3	5s
4	Mapeo flujo de valor
5	Tiempo de planificación (takt)
6	Estructuración del trabajo
7	Hojas de operación estándar (SOP)
8	Material justo a tiempo (JIT) flujo de componentes
9	Tire del sistema de producción usando Kanbans
10	Prefabricación y modularización

3.3 Sinergias entre las herramientas Lean Construction y BIM

De acuerdo con los principios Lean basados en los procesos de flujo y procesos que generan valor, se tienen en cuenta las funcionalidades que proporciona BIM y la interacción que pueden tener para optimizar los procesos de construcción, debido a la apreciación del diseño en etapas tempranas, ya que, BIM permite una visualización de la forma (diseño), se reduce la variabilidad del producto (principio Lean basado en procesos de flujo), aumentando la calidad del producto final (Oryan Jopia, 2011). El hecho de que BIM pueda visualizar los atributos espaciales y el espacio de acogida para el acceso inmediato a fin de identificar los espacios infrutilizados (Oskouie, Gerber, Alves, & Becerik-gerber, n.d.), sugiere un beneficio para Lean, puesto que, como lo propone JIT, los materiales y demás estarán en su momento sin perder tiempo ya que no contarán con obstrucciones.

Es conocido el hecho de que Lean es el proceso que se centra en la maximización de la productividad, así como la minimización de desperdicio y BIM, es el complemento que ayuda a la detección de conflictos, además de que, ayuda en el desarrollo de un flujo de trabajo de valor agregado por medio de la comunicación y coordinación del equipo de trabajo (X. Zhang & Azhar, 2015).

A través de la investigación y la práctica se ha observado que Lean Construction y el modelado de información de construcción (BIM) tienen importantes sinergias y pueden traer beneficios si se implementan en conjunto, como es el caso de VisiLean (software de investigación) que proporciona integración entre el flujo de trabajo lean y el modelo BIM, ya que este, es compatible con el LPS, además se basa en principios de administración visual como kanban (Bhargav Dave, Boddy, Koskela, Visualisation, & Information, 2010).

3.4 Realidad virtual y Lean Construction

Cada vez se hace más común el desarrollo de proyectos de construcción de gran tamaño y complejidad. En estos se hace necesario integrar a una gran diversidad de especialidades y manejar una gran cantidad de información para cumplir las exigencias del cliente. Surgen como alternativas a esta problemática, el enfoque para la gestión de proyectos llamado Construcción Lean y realidad Virtual. Sin embargo, la incorporación de estas nuevas tecnologías al sector de la construcción ha traído como consecuencia un cambio fundamental en la manera de trabajar, forzando a las empresas a reformular sus procesos y organización. Este nuevo uso de las tecnologías implementándose como un nuevo proceso de trabajo ha sido llamado Diseño y Construcción Virtual, apoyada por la construcción lean. El Diseño y Construcción Virtual (DCV) se sirve de las

tecnologías de información para analizar, simular y predecir el desempeño final del producto (la edificación), del proceso (como será realizado el producto) y de la organización.

La utilización de herramientas lean con la Realidad Virtual establece modelos para representar el producto (la edificación), el proceso, diseño, construcción, operación del producto y la organización (equipo de trabajo) con el objetivo de cumplir objetivos específicos de negocio, permite generar valor al inicio del proyecto donde el costo de cambio es mínimo. Para esto se requiere educar a los distintos empleadores del proyecto de manera tal que éstos desarrollen un trabajo en equipo donde todos trabajan en pos de objetivos comunes. Esta es una forma de trabajar, y como tal, su implementación requiere que la empresa realice una reingeniería de sus procesos con el fin de aprovechar la potencialidad de esta nueva metodología de trabajo, articulando las distintas áreas de la empresa y los distintos software de gestión de la información con los modelos virtuales (Oryan Jopia, 2011). Estos enfoques de colaboración actuales, a menudo se centran en la construcción de modelos versionados y distribuidos, que describen estados de construcción virtuales sobre la base del método a utilizar (Cho & Lee, 2013).

Lean y la realidad virtual tienen factores en común que, a pesar de un desarrollo de manera independiente, ambos son enfoques que se extienden a todo el ciclo de vida del proyecto, además requieren de buscar un trabajo colaborativo entre los empleadores. Esta implementación requiere un trabajo entre los distintos empleadores a etapas tempranas para evaluar el desempeño del producto del proceso y de la organización. Lean busca generar un flujo estable y continuo mediante la creación de un equipo de trabajo involucrando a los distintos especialistas en etapas tempranas. Ambos enfoques ya se han implementado de forma conjunta y han demostrado excelentes resultados, sin embargo si se evalúa el impacto de la realidad virtual desde el enfoque Lean se concluye que su impacto ha sido limitado a la búsqueda de información la cual mejora esta unión

(Gurevich & Sacks, 2014). El uso de las tecnologías modernas, como la realidad virtual y BIM, integrados con herramientas de Lean para la construcción, también puede aumentar la transparencia a la hora de elegir el diseño de la intervención (Brioso, Calder, & Aguilar, n.d.).

4. Conclusiones

Las herramientas Lean Construction en apoyo a la gestión de proyectos, imponen un avance para la administración de estos, transformando el modelo común por uno más óptimo que logre adquirir una unidad de construcción y así poder establecer un modelo donde lo necesario prima sobre lo demás, eliminando pérdidas innecesarias que no generan valor al producto final; estas herramientas adoptan planificaciones más cortas y específicas como una utilidad necesaria en la gestión de proyectos, impidiendo así, retardos que produzcan sobrecostos.

La agrupación de Bim y la realidad virtual con las herramientas Lean Construction simplifican el análisis en la construcción usando componentes básicos para su posterior uso en modelos que ayuden en la eficiencia del área o entorno de trabajo. El uso conjunto de estas herramientas optimiza el análisis permitiendo un mejor entendimiento del impacto de las estrategias de implementación Bim y Realidad Virtual.

La mejora continua en las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción da un valor agregado a las herramientas Lean Construction, ya que son piezas clave en la estructuración del proyecto desde la fase de planeación hasta su terminación (demolición del proyecto), dichas

herramientas son aplicativas en la totalidad del proyecto ya que se acoplan a las necesidades del día a día que el ámbito de la construcción propone.

Referencias Bibliográficas

- Alaa, A. S., Shaiful, A. I. M., Zain, Z. M., & Malek, A. K. (2018). Variable Value Stream Mapping : Development of a Conceptual Model, 020059. <https://doi.org/10.1063/1.5066700>
- Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2009). A new management focus : lean construction. *Revista de Obras Públicas/ Febrero 2009/ No. 3496*, (October 2016), 45–52.
- Añazco Campoverde, G. A., & Sánchez Buri, J. C. (2010). Pérdidas operacionales generadas en la construcción: análisis de sus causas y soluciones mediante la filosofía de lean construction.
- Anciano, C. A. L. (n.d.). Proyecto de construccion ciclos de vida, 1–37.
- Araque Gonzales, G. A. (2010). Planeación e implementación de la filosofía Lean Construction en base al estudio de pérdidas y aplicación del sistema Last Planner en un proyecto constructivo de la empresa Marval S.A., 260.
- Barreto, A. M., & Heineck, L. F. M. (n.d.). Learning , structural masonry technology and lean construction : a case study in a small building site, 55(84).
- Binninger, M., Dlouhy, J., Schattmann, M., & Haghsheno, S. (2018). SHORT TAKT TIME IN CONSTRUCTION – A PRACTICAL STUDY, 1133–1143.
- Brady, D. A., Tzortzopoulos, P., Rooke, J., Formoso, C. T., Tezel, A., Brady, D. A., ... Formoso, C. T. (2018). Improving transparency in construction management : a visual planning and control model management. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2017-0122>
- Brandalise, F. M. P., Valente, C. P., Viana, D. D., & Formoso, C. T. (2018). UNDERSTANDING THE EFFECTIVENESS OF VISUAL MANAGEMENT BEST PRACTICES IN CONSTRUCTION SITES, 754–763.

- Brioso, X., Calder, C., & Aguilar, R. (n.d.). Preliminary Methodology for the Integration of Lean Construction , BIM and Virtual Reality in the Planning Phase of Structural Intervention in Heritage Structures, *1*, 484–492. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3>
- Castillo, T., Alarc, L. F., Ph, D., Asce, A. M., Salvatierra, J. L., & Ph, D. (2018). Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects, *144*(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443).
- Chauhan, K., Peltokorpi, A., & Berghede, K. (2018). COMBINING TAKT PLANNING WITH PRE- FABRICATION FOR INDUSTRIALIZED, 848–857.
- Cho, Y. S., & Lee, S. Il. (2013). Reinforcement Placement in a Concrete Slab Object Using Structural Building Information Modeling, *00*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2012.00794.x>
- CIFE. (2007). VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity. *Center For Integrated Facility Engineering*, (December), 1–40.
- Court, P. F. (2009). Institutional Repository Modular assembly with postponement to improve health , safety , and productivity in construction This item was submitted to Loughborough ' s Institutional Repository (<https://dspace.lboro.ac.uk/>) by the author and is made availab.
- Da Alves, T. C., Barros Neto, J. de P., Heineck, L. F. M., Kemmer, S. L., & Pereira, P. E. (n.d.). INCENTIVES AND INNOVATION TO SUSTAIN LEAN CONSTRUCTION IMPLEMENTATION, 583–592.
- Da Rocha, C. G., Tezel, A., Talebi, S., & Koskela, L. (2018). PRODUCT MODULARITY , TOLERANCE MANAGEMENT , AND VISUAL MANAGEMENT : POTENTIAL SYNERGIES, 582–592.
- Dave, B, Kubler, S., Framling, K., & Koskela, L. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, *136*(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
- Dave, Bhargav, Boddy, S., Koskela, L., Visualisation, P., & Information, B. (2010). CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN IMPLEMENTING LEAN AND BIM ON AN INFRASTRUCTURE PROJECT, 741–750.

- Ecured. (2007). Ciclo de vida de un proyecto. 2007. Retrieved from http://www.ecured.cu/index.php/Ciclo_de_Vida_de_un_Proyecto
- El-gafy, M. A., & Abdelhamid, T. (1992). USING SYSTEM DYNAMICS MODELING AS A LEAN CONSTRUCTION WORK STRUCTURING, 121–130.
- Fang, Y., Rasel, M. A. K., Richmond, P. C., Smith, D. F., & Engineering, C. (2017). A Stylized Trend Analysis Approach for Process Monitoring and Fault Diagnosis, 00(00), 1–8. <https://doi.org/10.1002/prs.11951>
- Fernando, L., Botero, B., Eugenia, M., & Villa, Á. (2003). Identificación de Pérdidas. *Construction*, 65–78.
- Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (n.d.). TAKT TIME PLANNING FOR CONSTRUCTION OF EXTERIOR CLADDING, 1(510), 527–536.
- Frier, M., Kirkegaard, P. H., & Fisker, A. M. (n.d.). ARCHITECTURAL INTENTION AS THE MEDIATOR OF LEAN HOUSING CONSTRUCTION, 533–540.
- Gapp, R., Fisher, R., Kobayashi, K., Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2017). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. <https://doi.org/10.1108/00251740810865067>
- García Díaz, O. A. (2012). Aplicación de la metodología Lean Construction en la vivienda de interés social.
- Ghossaini, B. M., Dehaini, K. Y., Alruzz, M. A., Fakhr, N. A., & Hamzeh, F. R. (2020). SYNCLEAN : AN APPLICATION FOR IMPROVED LEAN CONSTRUCTION, 1195–1205.
- Goh, M., & Goh, Y. M. (2019). Automation in Construction Lean production theory-based simulation of modular construction processes. *Automation in Construction*, 101(June 2017), 227–244. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>

- Gurevich, U., & Sacks, R. (2014). Automation in Construction Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors ' task selections in interior works. *Automation in Construction*, 37, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.003>
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., & Sterlike, S. (2016). HISTORY AND THEORETICAL FOUNDATIONS OF TAKT PLANNING AND TAKT CONTROL, 53–62.
- Hamzeh, F. (2015). The Lean Journey : Implementing The Last Planner ® System in Construction THE LEAN JOURNEY : IMPLEMENTING THE LAST PLANNER ® SYSTEM IN CONSTRUCTION, (July 2011). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3648.7522>
- Houa, S. C., Haslinda, M., Muliati, S., Miri, A. M., & Rahim, A. F. (2018). Implementation of 5S in Manufacturing Industry : A Case of Foreign Workers in Melaka, 05034, 1–5.
- Huang, X., & Yang, Z. (2012). Project Executive Ability Research under Lean Construction, 177, 2806–2810. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.174-177.2806>
- Hurtado, O. E., & Lisste Morales. (2016). PLAN PARA LA DIRECCIÓN DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SIGUIENDO LAS BUENAS PRACTICAS DE LA GUÍA DEL PMBOK.
- Ilozor, B. D., & Kelly, D. J. (2012). Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 23–36.
- Intani Budiawati, G., & Sarno, R. (2018). Time and Cost optimization of Business Process Distribution Company using Goal Programming. *2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, 29–34.
- Karim, N. A., Nawawi, A., & Puteh Salin, A. S. A. (2017). Article information : Inventory management effectiveness of a manufacturing company- Malaysian evidence.
- Khanzode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large Healthcare project.

- Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13(September 2007), 324–342. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Khemlani L. (March 6, 2009). (2006). Sutter Medical Center Castro Valley IPD Process Innovation with Building Information Modeling.
- Koskela, L., Tezel, A., & Tzortzopoulos, P. (2018). WHY VISUAL MANAGEMENT ?, 250–260.
- Lasa, I. S. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool, 14(1), 39–52. <https://doi.org/10.1108/14637150810849391>
- Latorre, A. (2018). Filosofía Lean en la construcción, (March 2015).
- Lennartsson, M., & Stehn, L. (n.d.). PRODUCTION CONTROL THROUGH MODULARISATION, 453–464.
- Machfudiyanto, R. A., Latief, Y., Soepandji, B. S., & Anggia, P. (2018). Improving business processes to develop standard operation procedures on government building maintenance work in Indonesia, 06006.
- María, A., & Albis, A. (n.d.). Ciclos y fases de la identificación de proyectos Tema : Ciclo del proyecto .
- Martínez, P., & Florez, D. (2012). Demolición un ciclo de la construcción, (v), 1–5.
- Martínez, P., González, V., & Da Fonseca, E. (2009). Green-Lean conceptual integration in the project design, planning and construction. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(1), 5–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732009000100001>
- Marzouk, M., & Abdel Aty, A. (2012). Maintaining Subways Infrastructures using BIM. *Construction Research Congress*, 2320–2328. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.233>
- Merino Chévez, D. E. (2015). Aplicación de la filosofía Lean para la mejora de la productividad en la estructura: Reservorio elevado de la obra: Instalación, ampliación y mejoramiento del

servicio de agua potable y alcantarillado en los AA.HH. de las cuencas 1,2 y 3 de la zona alta d.

Oryan Jopia, C. I. (2011). UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA ENTENDER EL IMPACTO DE LAS ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL Y SU INTERACCIÓN CON LOS PRINCIPIOS LEAN.

Oskouie, P., Gerber, D. J., Alves, T., & Becerik-gerber, B. (n.d.). EXTENDING THE INTERACTION OF BUILDING INFORMATION MODELING AND LEAN, *1*(617).

Patel, V. V., Karia, N., & Pandit, D. (2018). IDENTIFYING VALUE ENHANCING FACTORS AND APPLICABILITY OF VISUAL, 282–293.

Pavnaskar, S. J., & Gershenson, J. K. (2016). DET C20 04-5 7 768 THE APPLICATION OF VALUE STREAM MAPPING TO LEAN ENGINEERING, 1–10.

Pereira, D., & Cachadinha, N. (2011). Lean Construction in Rehabilitation Works – Suitability Analysis and Contribution for the Definition of an Application Model, (July), 568–578.

Perez, A. M., Ghosh, S., Perez, A. M., & Ghosh, S. (2018). Barriers faced by new-adopter of Last Planner System ® : a case study. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0162>

Pérez Martínez, F. J. (2011). Presente y futuro de la tecnología de la Realidad Virtual, 1–39.

Porras D., H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Lean Construction philosophy for the management of construction projects : a current review, *11*(1), 32–53.

Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Lean Construction philosophy for the management of construction projects : a current review, *11*(1), 32–53.

ProManagers & CE. (2012). Ciclo de vida del proyecto y organización. Retrieved September 16, 2018, from <https://laenergiaparaconseguirlo.wordpress.com/tag/ciclo-de-vida-del-proyecto-y-organizacion/>

- Randhawa, J., & Ahuja, E. S. (2017). Article information : EVALUATING IMPACT OF 5S IMPLEMENTATION ON BUSINESS.
- Rauch, E., Matt, D. T., Dallasega, P., Matt, D. T., & Dallasega, P. (2015). Mobile On-site Factories – scalable and distributed manufacturing systems for the construction industry.
- Rosenbaum, S., Toledo, M., Ph, D., González, V., & Ph, D. (2014). Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping : Case Study, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)
- Rossetti, M., & Antoniol, E. (2013). BIM , Building Information Modeling, (November).
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B., & Owen, R. (2010). The interaction of lean and building information modeling in construction.
- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1307–1315. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000102)
- Shou, W., Wang, J., Wang, X., & Chong, H. Y. (2015). A Comparative Review of Building Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 22(2), 291–308. <https://doi.org/10.1007/s11831-014-9125-9>
- Small, E. P., Al Hamouri, K., & Al Hamouri, H. (2017). Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai. *Procedia Engineering*, 196(June), 616–621. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.049>
- Tauriainen, M., Marttinen, P., Dave, B., & Koskela, L. (2016). The Effects of BIM and Lean Construction on Design Management Practices. *Procedia Engineering*, 164(June), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.659>
- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017). Engineering , Construction and Architectural Management Article information : <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>

- Tezel, A., Koskela, L., & Aziz, Z. (2017). The Management of Operations Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers. *Production Planning & Control*, 7287(December), 1–23. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1412522>
- Tsao, C. C. Y., Tommeein, I. D., Swanlund, E. S., & Howel, G. A. (2005). Work Structuring to Achieve Integrated Product – Process Design, *130*(6), 780–789.
- Von Heyl, J. (2016). LEAN SIMULATION IN ROAD CONSTRUCTION: TEACHING OF BASIC LEAN SIMULATION IN ROAD CONSTRUCTION: TEACHING OF BASIC, (April).
- Zhang, L., & Chen, X. (2016). Role of Lean Tools in Supporting Knowledge Creation and Performance in Lean Construction. *Procedia Engineering*, 145, 1267–1274. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.163>
- Zhang, X., & Azhar, S. (2015). Using Building Information Modeling to Achieve Lean Principles by Improving Efficiency of Work Teams.
- Zhongfu, L., & Jianshuang, F. (2008). Study on JIT Distribution System Based on Web for the 3rd Party Logistics, 1–4.