

Estudio exploratorio sobre la implementación de técnicas de lean manufacturing en el sector de
la construcción (lean construction)

Angie Carolina Delgado Gamboa

Adriana Lizeth Morantes Bolívar

Trabajo de Grado para optar el título de ingeniero industrial

Director

Néstor Raúl Ortiz Pimiento

PhD. En ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Primero le agradezco a Dios por permitirme gozar de una muy buena salud y poder culminar este punto de la lista de mi proyecto de vida.

A mi familia por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por enseñarme que las cosas se obtienen con mucho esfuerzo y dedicación.

A los profesores que estuvieron presentes en este proceso de aprendizaje y enseñanza.

Y, por último, a mi director de proyecto, el profesor Néstor Raúl Ortiz Pimiento, por su acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.

Adriana Lizeth Morantes Bolívar

Tabla de Contenido

Introducción.....	12
1. Generalidades del proyecto	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Justificación del problema.....	18
2. Objetivos.....	21
2.1. Objetivo General.....	22
2.2. Objetivos Específicos	22
3. Metodología.....	22
3.1. Antecedentes metodológicos.....	23
3.2. Análisis bibliométrico	28
4. Conceptualización de lean manufacturing y lean construction.....	36
4.1. Desperdicio como base del Lean.....	37
4.2. Principios del Lean.....	39
4.2.1. Valor	39
4.2.2. Cadena de valor.....	40
4.2.3. Flujo	40
4.2. Sistema Pull	41
4.2.5. Perfección (Mejora Continua).....	41
4.3. Lean Manufacturing.....	42

4.3.1. Técnicas y herramientas de registro y análisis.....	43
4.3.1.1. Reporte A3.....	43
4.3.1.2. Value Stream Mapping (VSM) o Mapa de Flujo de Valor.....	44
4.3.1.3. Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos..	44
4.3.1.4. Matriz de auto calidad (MAQ).....	44
4.3.1.5. Diagrama de Ishikawa (espina de pescado o diagrama causa – efecto).....	45
4.3.1.6. Por qué..	46
4.3.1.7. Diagrama de Pareto..	46
4.3.1.8 Diagrama Yamazumi..	47
4.3.2. Técnicas operativas.....	47
4.3.2.1 Single-Minute Exchange of Dies (SMED).:	47
4.3.2.2 KANBAN.....	47
4.3.2.3 5’S (5 ESES).....	48
4.3.2.4 Poka Yoke.	48
4.3.2.5 Jidoka.....	48
4.3.3 Facilitadores para Implementar LEAN.....	49
4.3.3.1 Sistema de Participación del Personal (SPP)..	49
4.3.3.2 Sentido de Pertenencia.....	49
4.3.3.3 Estandarización.....	49
4.3.3.4 Control visual (Andon).....	50
4.3.3.5 Heijunka.....	50
4.3.3.6 Mantenimiento Total Productivo (TPM).....	50
4.3.3.7. Ciclo Deming (PDCA: Planear, hacer, verificar, actuar).	51

4.4. Lean Construction (construcción sin perdidas).....	51
4.4.1 Herramientas de lean construction.....	52
4.4.1.1 Lean Project Delivery System (LPDS).	52
4.4.1.2 Integrated Project Delivery (IPD).....	52
4.4.1.3 BIM (Building Information Modeling).....	53
4.4.1.4 El Last Planner System o Sistema Último Planificador (LPS).....	53
4.5. Técnicas operativas de lean production con mayor frecuencia dentro del sector de la construcción.....	53
5. Cambios efectuados de las técnicas de lean manufacturing en el sector de la construcción...	61
5.1. Técnicas que no se han incorporado en el sector construcción de forma amplia	61
5.2. Comparación del sector manufactura y el sector construcción – cambios / diferencias.....	63
5.3. Relación entre los procesos misionales y las técnicas lean	71
5.4. Técnicas no aplicadas actualmente en el sector construcción	73
6. Análisis del Impacto de la Aplicación de las Herramientas Lean en el Sector Construcción.	76
6.1. Análisis del impacto	76
6.1.1. Diseño y planificación del proyecto	78
6.1.2. Construcción del proyecto	79
6.1.3. Operación o ejecución del proyecto.....	81
6.1.4. Fin de vida del proyecto.....	82
6.2. Ventajas y barreras de la implementación.	85
6.2.1. Ventajas.....	85
6.2.2. Barreras	86

7. Resultados.....	87
7.1. Artículo publicable.....	87
7.2. Elaboración de un esquema gráfico de la adaptación de las técnicas operativas lean en el sector construcción.....	87
7.3. Análisis de los cambios	89
8. Conclusiones.....	92
9. Recomendaciones.....	94
Referencias Bibliográficas	95

Lista de Figuras

Figura 1	Documentos publicados por año según la ecuación de búsqueda preliminar	30
Figura 2	Documentos por autor	31
Figura 3	Documentos por país	32
Figura 4	Documentos por área temática	33
Figura 5	Nube de palabras clave.....	34
Figura 6	Red de autores con mayor citación.....	35
Figura 7	Secuencia de actividades que responden a una necesidad	40
Figura 8	Ciclo de principios lean.....	42
Figura 9	Diagrama Ishikawa.....	45
Figura 10	Diagrama de pareto	46
Figura 11	Resumen del impacto de la implementación de técnicas del ciclo de vida.....	84
Figura 12	Esquema ajustado al sector de la construcción	88

Lista de Tablas

Tabla 1	Cumplimiento de los objetivos de la investigación	15
Tabla 2	Ecuación de búsqueda.....	28
Tabla 3	Resultados encontrados en la base de datos SCOPUS.....	29
Tabla 4	Cantidad de documentos encontrados respecto a cada una de las técnicas nombradas	54
Tabla 5	Comparación de 5'S entre el lean manufacturing y el lean construction	63
Tabla 6	Comparación de POKA YOKE entre el lean manufacturing y el lean construction	65
Tabla 7	Comparación de KANBAN entre el lean manufacturing y el lean construction	66
Tabla 8	Comparación de VSM entre el lean manufacturing y el lean construction	67
Tabla 9	Comparación de SMED entre el lean manufacturing y el lean construction	68
Tabla 10	Comparación de A3 entre el lean manufacturing y el lean construction	69
Tabla 11	Comparación de OEE entre el lean manufacturing y el lean construction	70

Lista de Apéndices

“Los apéndices están adjuntos en una carpeta denominada APENDICES

Resumen

Título: Estudio exploratorio sobre la implementación de técnicas de lean manufacturing en el sector de la construcción (lean construction).

Autoras: Angie Carolina Delgado Gamboa y Adriana Lizeth Morante Bolívar.

Palabras Clave: Lean Manufacturing, Lean Construction, Técnicas, Impacto, Cambios, Desperdicio, Valor agregado, Ciclo de vida, Mejora continua.

Descripción

El lean manufacturing cuenta con una variedad de técnicas que le permiten a las empresas u organizaciones disminuir o eliminar actividades innecesarias sin valor agregado en los procesos productivos basándose en la mejora continua. Dichas técnicas han sido tan exitosas en el sector de la manufactura, tanto que fue necesario ampliar su aplicación a distintos sectores, como el de la construcción, donde se ajustan las herramientas de acuerdo con las necesidades de cada proyecto trayendo grandes beneficios e impactos a lo largo del tiempo. La investigación actual analiza las diferentes fuentes de información que enumeran las técnicas de la filosofía lean manufacturing extendidas al sector de la construcción, definiendo los conceptos introducidos al sector, las técnicas operativas que se adaptaron a las necesidades de los proyectos de obra y las que no, y la forma cómo dichas técnicas fueron adaptadas a los procesos misionales y así mismo, el impacto que tienen en el ciclo de vida del proyecto. Así, dicha investigación dio como resultado un documento que recopila la información estudiada de las diferentes fuentes de información, este documento se enfoca en realizar un análisis de los cambios efectuados entre el lean manufacturing y el lean construction. Además, este documento examina el impacto de la extensión de modelo Lean a la industria de la construcción en sus etapas, junto con las ventajas y desventajas expuestas en los casos de estudios.

* Bachelor de grado

** Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Néstor Raúl Ortiz Pimiento

Abstract

Title: Exploratory study on the implementation of lean manufacturing techniques in the construction sector (lean construction).

Authors: Angie Carolina Delgado Gamboa and Adriana Lizeth Morante Bolívar.

Key Words: Lean Manufacturing, Lean Construction, Techniques, Impact, Changes, Waste, Added value, Life cycle, Continuous improvement.

Description:

Lean manufacturing has a variety of techniques that allow companies or organizations to reduce or eliminate unnecessary activities without added value in production processes based on a continuous improvement. These techniques have been very successful in the manufacturing sector that it was necessary to extend their application to different sectors, such as Building, where the tools are adjusted according to the needs of each project, bringing great benefits and impacts over time. The current research analyzes the different sources of information that list the lean manufacturing philosophy techniques extended to the building industry, defining the concepts introduced to the sector, the operational techniques that were adapted to the needs of the building projects and those that were not, and it also explores how these techniques were adapted to the mission processes and the impact they have on the life cycle of the project. Therefore, this research resulted in a document that compiles the information obtained from different sources of information, this document focuses on analyzing the changes made between lean manufacturing and lean construction. In addition, this paper examines the impact of the extension of the lean model to the building industry in its stages, along with the advantages and disadvantages exposed in the case studies.

* Bachelor de grado

** Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Néstor Raúl Ortiz Pimiento

Introducción

La industria de la construcción fue una de las primeras en optar por la introducción de la filosofía Lean production al ciclo de vida de sus proyectos, cada una de las fases se interconectan con la tecnología para lograr un óptimo desarrollo y así reducir pérdidas, mejorar la planificación y tener un mejor control en la producción, fomentando el trabajo en equipo y alineando a todo el personal a los objetivos del proyecto (Pons & Fundación Laboral de la Construcción, 2014). Dentro del sector, el termino Lean se enfoca en la combinación de la gestión y la mejora continua de las operaciones productivas, el incremento del valor del cliente, la reducción de despilfarros, la minimización de costos y la reducción de actividades innecesarias en los procesos a través de la adopción de herramientas lean manufacturing y sus principios en los procesos de construcción, para obtener mayores beneficios en toda la extensión del producto final y consecuentemente favoreciendo la sostenibilidad a través del tiempo (Gerardi, 2021).

Es evidente que la implementación de herramientas Lean en la construcción transformó y benefició al sector, tanto, que en la actualidad se crean diariamente nuevas organizaciones e institutos que forman y desarrollan temas de la nueva gerencia en la ejecución de proyectos de construcción, como ejemplo del alcance de este término en la formulación de proyectos en la actualidad, se llevó a cabo en Barcelona el evento “Jornada Lean Construction” donde se expuso los efectos incurridos de la introducción del lean en España, imponiendo nuevos métodos de mejora (ITeC, 2021).

Cada día las empresas del sector construcción van comprendiendo la importancia de adoptar el concepto de construcción sin pérdidas como un enfoque en todos los niveles organizacionales, donde es primordial saber que este sistema debe ser implementado como una

estrategia empresarial vital para permanecer en el mercado, ya que, día tras día, como el mundo es cambiante y complejo en los proyectos de construcción, ya se encuentran procesos automatizados, estandarizados, sostenibles, industrializados y optimizados, según Llopis CEO de ELO CONSTRUCCIONES afirmó que:

Llevan más de 4 años implementado la metodología lean construction utilizando herramientas como el Last Planner System o más conocido como Sistema Último Planificador y aseguró que “La rapidez y la perfección sí son posibles gracias al lean construction” y que de no ser por la aplicación de esta filosofía no se habría podido ejecutar en el tiempo establecido y habría generado más costos (Zigurat Global Institute of Technology, 2021).

La empresa peruana Motiva S.A aplica la filosofía lean construction con técnicas concretas del pensamiento Lean llevando a la práctica los principios Lean y considerándose una de las empresas líderes y competitivas punteando una mayor productividad y un mejoramiento en toda la cadena de valor (Costa de los reyes, 2016).

Por otra parte, en la obra Metropolitan Business Park de la empresa Marval S.A se implementó y realizó un seguimiento de algunas técnicas del lean construction, entre ellas se encuentra el Sistema Último Planificador, siendo una técnica muy relevantes en la construcción ajustada, la cual permitió una mayor credibilidad y efectividad del sistema en la planificación de la compañía, obligando a todo el personal de la obra a proceder de manera proactiva evitando errores durante el proceso y obteniendo resultados positivos, para ello, también fue necesario el compromiso por parte de la gerencia, la participación del personal a las capacitaciones y la integración de planes de mejoramiento continuo (Luengas, 2011).

El equipo del proyecto Three White Flint North en Bethesda, Maryland (EE.UU) utilizó métodos de lean construction para mitigar el retrabajo, los desperdicios y realizar mejoras en la

eficiencia del proceso de construcción, utilizó modelos digitales 3D para resolver los respectivos problemas referentes al proyecto, utilizaron la tecnología como metodología Lean para una mejora continua, utilizan programación 4D combinada con el Sistema Último Planificador para tener una mejor visualización de la construcción, los contratistas comerciales entregaban materiales utilizando el sistema justo a tiempo (JIT), permitiendo un proceso más controlado, también prefabrican ensamblajes fuera del sitio lo cual permitió reducir los costos de transporte y desperdicios de materiales, entre otros beneficios (International Construction Services Company, n.d.).

De este modo, La presente investigación tiene como principal objetivo realizar un estudio sobre la implementación de las técnicas lean manufacturing en el sector de la construcción (lean construction) con el fin de caracterizar y analizar las diferencias con respecto al enfoque tradicional a nivel mundial, determinando los beneficios y oportunidades de mejora que contribuyan con el fortalecimiento y la potencialización de los procesos productivos del sector.

Para el desarrollo del proyecto se va a llevar a cabo un estudio exploratorio donde principalmente se va a realizar una revisión documental de estudios desarrollados en torno al lean construction, la conceptualización de lean production y lean construction, los cambios efectuados o la adaptación de las técnicas lean manufacturing en la construcción, el análisis del impacto de la aplicación de estas herramientas al sector y por último la elaboración de un artículo con base en la información obtenida dando así por terminada la investigación.

Cumplimiento de los objetivos

Tabla 1

Cumplimiento de los objetivos de la investigación

Efectuar una revisión documental de estudios desarrollados en torno al Lean Construction con el fin de identificar cuales herramientas del Lean Manufacturing han sido aplicadas en los procesos misionales de las empresas u organizaciones del sector construcción.	CAPITULO 3
Identificar qué herramientas Lean son empleadas con mayor frecuencia dentro de la cadena de valor en las empresas del sector construcción.	CAPITULO 4
Construir un análisis acerca de los cambios que se han efectuado en las técnicas del Lean Manufacturing para su aplicación en el sector construcción.	CAPITULO 5
Realizar un análisis que permita comprender el impacto de la aplicación de las herramientas Lean en el sector construcción como estrategia de mejoramiento de los procesos misionales.	CAPITULO 6
Artículo publicable con todos los aspectos importantes de la información recolectada durante la investigación.	APÉNDICE A
Documento con el análisis de los cambios efectuados del Lean tradicional al sector de la construcción.	APÉNDICE C

Documento con el análisis del impacto de la aplicación de las herramientas Lean en el sector construcción.	APÉNDICE D
--	------------

1. Generalidades del proyecto

1.1. Planteamiento del problema

La necesidad de implementar herramientas que integren y optimicen los procesos productivos de las organizaciones surge desde la época de la revolución industrial donde se dio lugar a cambios económicos y sociales que promovieron la creación de industrias y empresas capaces de competir dentro de un mercado local, nacional o global.

La cultura de la manufactura esbelta fue desarrollada por el sistema lean production en los años 90, ayudó a grandes corporaciones manufactureras a dar solución a: problemas técnicos de organización y despilfarro en sus procesos productivos, volviéndolos más adaptables al trabajador, con un mejor desarrollo en las actividades de producción y produciendo más variedad de artículos en pequeños lotes (Martínez, 2013). Pronto corporaciones que desarrollan actividades económicas distintas a la manufacturera encontraron en las herramientas del modelo Lean, un sistema que podría dar solución a problemas presentes en otros sectores, como ocurrió en el sector de la construcción. Luego de la II Guerra Mundial, los japoneses se dieron cuenta que hacer una reconstrucción conllevaba una gran cantidad de dinero, con lo que no estaban de acuerdo (Chiera et al., 2021), en respuesta a ello, desarrollaron métodos que optimizaron los recursos extremadamente limitados, lo que hizo crucial que los procesos de ensamblaje fueran lo más eficientes posible. Esto llevó a centrarse en minimizar el desperdicio, ahorrar tiempo y ahorrar el uso de productos físicos.

A diferencia del sector manufacturero, la industria de la construcción es más compleja y sensible a problemas impredecibles y factores externos (Chung & Mutis, 2020). El sistema lean manufacturing, la ingeniería y arquitectura dan lugar al LEAN CONSTRUCTION, puesto

formalmente por Koskela (1992), como se demostró en la revisión de literatura, aporta significativamente en etapas de rápido desarrollo, en las dos primeras (Planeación y Diseño), contribuye en la optimización de materiales, preparación de máquinas, control y evaluación del proyecto y en la siguiente (Ejecución), se hace inspección del producto final.

La tendencia actual en los proyectos de construcción es integrar la filosofía Lean con otras técnicas y conceptos. Se ha demostrado que dichas sinergias son mayoritariamente positivas para obtener una mayor productividad en proyectos de construcción (Koskela et al., 2020).

Como resultado, esta investigación debe agregar claridad a la implementación de estrategias que aportan conocimiento en administración y gestión de la evolución de las herramientas del modelo Lean hasta la actualidad del sistema lean construction, demostrando lo imprescindible del uso adecuado de las técnicas lean construction en modelos de diseño modernos y que se ejecutan en la actualidad, modelo que prevé diversas fallas que pueden dar a lugar a retrasos en la entrega de materiales de obra, sobrefacturaciones, reingeniería, problemas de acabado y certificaciones o licencias para el desarrollo de las actividades de construcción .

1.2. Justificación del problema

Hoy en día cuando se habla de eficiencia y productividad dentro del ámbito empresarial, López, 2019 resalta que la filosofía Lean se basa en la premisa “todo puede hacerse mejor” donde las organizaciones buscan continuamente oportunidades para perfeccionar la cadena productiva.

La necesidad de implementar herramientas que integren y optimicen los procesos productivos de las organizaciones surge desde la época de la revolución industrial donde se dio lugar a cambios económicos y sociales que promovieron la creación de industrias y empresas capaces de competir dentro de un mercado local, nacional o global.

Botero & Álvarez, 2004 señalan que:

La construcción como sector productivo de nuestro país, es de gran importancia en el desarrollo económico, ya que su dinámica, es un motor que impulsa permanentemente el progreso de la sociedad. A través de la construcción se da respuesta a las necesidades de la población, con el desarrollo de proyectos de infraestructura y soluciones de vivienda, constituyéndose una fuente permanente de trabajo, con la utilización de mano de obra de manera intensiva y generando una importante actividad indirecta en otros sectores de la economía del país (p,51).

En la actualidad cuando una organización quiere mantenerse y resaltar en un entorno económico, requiere cambios desde su estructura interna, por ello la importancia del estudio de la implementación del concepto lean manufacturing en los procesos productivos y las técnicas desarrolladas para conseguir sus objetivos basados en la reducción de desperdicios.

La aplicación de las técnicas del lean manufacturing en distintas empresas ha traído excelentes resultados, por ejemplo, uno de los sectores que le apuesta al lean manufacturing es el sector calzado, donde establecen todos los beneficios destacando al personal como un pilar muy importante para las empresas, según el director de Proyectos de Grupo Innova, Ernesto Beltrán, para adaptar el Lean es debidamente necesario llevar a cabo 4 principales ejes: las personas, la estrategia, los procesos y la tecnología, todo ello en conjunto es un gran equipamiento para reducir significativamente todo tipo de costos, por otro lado, según José Aquiles, gerente de la empresa SALPAX que introdujo algunas de las técnicas del lean manufacturing en los procesos de fabricación y desde su experiencia permitió obtener múltiples beneficios haciendo más viable su negocio (Martinez, 2019).

Por otra parte, Joe Foley, director de operaciones de la empresa INTEL en Leixlip (Citado por Hanna, 2015) comentó que: “Hace cinco años, nos tomó 14 semanas para introducir un nuevo chip a nuestra fábrica; ahora se tarda 10 días. Fuimos la primera fábrica de Intel en lograr estos tiempos utilizando los principios de Lean”, recalando que, para lograrlo, fue gracias a que pusieron en práctica las técnicas Lean que permitieron reducir los tiempos.

Existen múltiples empresas que a lo largo de la historia han adoptado el concepto de lean manufacturing en sus estrategias de crecimiento, mejora continua y que han lograron con dicha implementación cumplir con sus objetivos, por ello esta filosofía se convierte en una influencia significativa al momento de querer administrar de forma eficaz y eficiente una empresa y sus procesos de transformación.

La invención de la tecnología y la globalización han permitido que distintos sectores al manufacturero desarrollen herramientas adaptadas a sus propias necesidades, considerando el pensamiento Lean y sus técnicas que aplicadas apropiadamente en otros mercados ya han demostrado ser efectivas.

El lean construction se apoya en los principios de mejora continua y en el sistema de producción Toyota para la gestión de las actividades constructivas, partiendo de la introducción de técnicas que optimizan la productividad, rentabilidad, minimizan tiempos de entrega y eliminan actividades innecesarias que no dan valor agregado (PROGRESSA LEAN, 2015).

Lean Construction surge de la necesidad de buscar nuevos métodos de organización y coordinación para conseguir mejorar sustancialmente los resultados en la ejecución de proyectos de obra.

En la industria constructora la cadena de valor refleja gran cantidad de actividades que no generan valor en todas sus etapas y es por eso que según lo publicado por Porras et al., 2014, en

1992 el profesor Lauri Koskela propuso utilizar el Lean en el sector construcción y realizó un proyecto investigativo del cuál se desprendió su trabajo denominado “Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción“ en conjunto con CIFE, un grupo de investigación de la Universidad de Stanford, por lo que también sustentó que para mejorar la eficiencia en los procesos era necesario excluir todas las actividades sin valor alguno (Porrás et al., 2014), la propuesta del profesor también se llevó a cabo con el objetivo de explorar los beneficios que han obtenido los distintos sectores que han implementado las diferentes técnicas que maneja, ya que existe una variedad de problemas que retrasan la productividad, cuando se lleva a cabo un proyecto, como lo son todos los tiempos de espera, de inactividad, desplazamientos innecesarios, retrasos por incumplimientos de diseño o especificaciones, calidad defectuosa, entre otros (PROGRESSA LEAN, 2015).

En ese sentido, es importante adoptar la filosofía Lean que propone desarrollar metodologías de trabajo involucrando variedad de técnicas que permiten obtener un cambio de forma radical en la manera en cómo se lleva a cabo las operaciones en la construcción, buscando así mejorar la calidad en los procesos, generando más satisfacción en el cliente, consiguiendo mayor productividad, mejorando la seguridad, reduciendo los plazos de entrega, reduciendo costos y mejorando la gestión de riesgos (CONSTRUCIA, 2018).

Considerando lo anterior, se concluye que el propósito de esta investigación es identificar cuáles son las técnicas del lean manufacturing que han sido implementadas en proyectos de distintas constructoras como métodos de mejora en sus procesos productivos y que ajustes se les ha realizado a las mismas para su incorporación y aplicación.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Realizar un estudio sobre la implementación de las técnicas lean manufacturing en el sector de la construcción (lean construction) a nivel mundial, con el fin de caracterizar y analizar las diferencias con respecto al enfoque tradicional.

2.2. Objetivos Específicos

1. Efectuar una revisión documental de estudios desarrollados en torno al lean construction con el fin de identificar cuales herramientas del lean manufacturing han sido aplicadas en los procesos misionales de las empresas u organizaciones del sector construcción.
2. Identificar qué herramientas Lean son empleadas con mayor frecuencia dentro de la cadena de valor en las empresas del sector construcción.
3. Construir un análisis acerca de los cambios que se han efectuado en las técnicas del lean manufacturing para su aplicación en el sector construcción.
4. Realizar un análisis que permita comprender el impacto de la aplicación de las herramientas Lean en el sector construcción como estrategia de mejoramiento de los procesos misionales.

3. Metodología

3.1. Antecedentes metodológicos

Se encontró el primer proyecto de investigación desarrollado en el año 2016 por Villamizar & Ortiz, 2016, denominado “Implementación de los principios de lean construction en la constructora Colproyectos S.A.S. de un proyecto de vivienda” teniendo como objetivo introducir en la constructora del municipio Villa del Rosario los principios lean construction en la obra ARBORETTO. En sus inicios, la constructora comenzó desarrollando proyectos pequeños que obtuvieron resultados muy satisfactorios y con el paso del tiempo tuvieron el reto de ejecutar proyectos más grandes, lo que implicaba empezar a tener un mayor control en todas sus fases; es allí donde fue necesario implementar una serie de mejoras, ya que, no contaban con métodos estandarizados, ni tiempos estándar de producción para desarrollar cada actividad de operación, por lo que fue importante aplicar los principios del sistema lean construction con técnicas como el LPS, siendo un sistema que permite tener más certeza y confianza en el momento de realizar la planificación de todo el proyecto, posibilitando la reducción de tiempos, costos, mejorando la calidad y seguridad, integrándolo con un sistema layout (Se refiere a un proceso logístico interno) para evitar la desorganización y los despilfarros en la obra y así colaborar con la minimización de desperdicios, mejorar el sistema logístico, darle valor al cliente y confirmar la efectividad del sistema para incluirlo en los demás proyectos de vivienda brindándole un excelente producto al cliente, afrontando a su vez, la diversidad de cambios y retos que propone el mundo actual. La implementación del lean construction era imprescindible ya que en obras previas se presentaron retrasos debido a la falta de programación en todo el ciclo y actualmente gracias a los resultados positivos, distintas empresas del sector consideran la idea de implementarla a sus procesos. Colproyectos S.A.S introdujo el lean construction en el año 2014 y en octubre del 2015 se certificó

con las normas ISO9001, OHSAS 1800 consiguiendo ser una de las constructoras con mayor competitividad a nivel departamental y nacional (Villamizar & Ortiz, 2016).

Es importante tener en cuenta que para proyectos de ese nivel lo más adecuado no es afectar la calidad del producto, sino descubrir formas de agregarle valor al cliente y es por esto que, muchas empresas actualmente han tomado la iniciativa de acogerse al sistema lean construction enfocándose principalmente en la reducción de actividades que no dan valor a la obra, mejorando la programación, el control de las actividades, la productividad y reduciendo costos sin afectar la calidad de los proyectos.

El documento en referencia permite relacionarse más con los principios de la construcción sin pérdidas, siendo que esta filosofía cuenta con sus propias herramientas para mejorar sus procesos, mientras que la presente investigación busca el paralelo que hay entre las herramientas Lean y los cambios que se han hecho al adaptarlas a este sector, identificando el impacto que puede lograr en las empresas u organizaciones.

Por otro lado, el trabajo de investigación de Costa de los Reyes en el 2016 titulado “Estudio para determinar la factibilidad de introducción de la filosofía lean construction en la etapa de planificación y diseño de proyectos, en empresas públicas y privadas de ciudades intermedias, casos: Cuenca y Loja” donde su principal objetivo era definir qué tan factible podía ser la implementación del lean construction en cada una de las fases, para mejorar el rendimiento de los proyectos en el sector público y privado de la construcción en la ciudad de Cuenca y Loja (Ecuador).

Como es de saber, el sector construcción es una de las bases del desarrollo de muchas ciudades, ya que, se demanda cantidad de edificaciones, obras viales, puentes, entre otras, pero, como en toda empresa, siempre se va a encontrar con problemas que pueden afectar los costos y

plazos determinados inicialmente en la planificación y en el diseño de los procesos. En las ciudades de Cuenca y Loja, se realizó un estudio donde: primero, se quiso determinar qué conocimientos poseían los trabajadores respecto al Lean y segundo, las razones por las cuales se presentan problemas en las etapas de planificación y diseño debido al aumento en los costos y tiempos de ejecución programados en algunas empresas; para ello se realizó una encuesta a 100 personas que involucraba gerentes de empresas, funcionarios públicos, técnicos en oficinas y demás que hacían parte de las dos primeras etapas de construcción de empresas públicas y privadas de las ciudades de Cuenca y Loja, en donde se abordaron qué deficiencias percibían al momento de laborar y aunque no todas las personas respondieron de acuerdo a sus fallas laborales, según el análisis de las encuestas, se llegó a la conclusión de que el punto crítico que deben abordar las empresas a la hora de realizar un proyecto desde su etapa inicial hasta la final es la coordinación y se requiere resolver por medio de la introducción de nuevos métodos de coordinación y organización analizando variables que permitan su visualización en las etapas de diseño y planificación proponiendo estrategias que se acomoden a las necesidades de la actualidad como la introducción de la construcción ágil y las técnicas que faciliten obtener mejores resultados y eliminar aquellos factores que afectan los procesos productivos. Para su desarrollo tomaron como base un caso de estudio de la empresa MOTIVA S.A.S (se dedica al diseño y construcción de proyectos e introdujeron el lean construction a sus procesos) con el fin de identificar que tan viable era la implementación de la filosofía y sus técnicas y en cuánto tiempo podían adaptarse a ella para llegar a mejorar en todos los sentidos la gestión de las empresas de las ciudades de Cuenca y Loja (Costa de los reyes, 2016).

Se ha visto en muchas empresas que la construcción ajustada es una filosofía que busca mejorar la calidad de todo el proceso productivo a proyectos de construcción haciendo énfasis en los costos, tiempos y lo más importante involucrando a todo el personal en la participación de la

planificación con ideas que pueden ser innovadoras y que marquen la diferencia pudiéndole brindar la mejor calidad del producto final al cliente.

En este proyecto se pudo notar que, a pesar de los desfases en las respuestas de algunas personas, se puede llegar a encontrar problemas que ellos mismos perciben y eso puede permitirles a las empresas plantearse mejor y lograr un gran cambio para que entre todos puedan mejorar, crear una cultura organizacional fuerte y generar un gran cambio tanto a sus vidas como a la empresa.

La tesis de la Universidad de Cuenca tiene como objetivo buscar la viabilidad de implementar la filosofía lean construction en las dos primeras fases de los proyectos, a diferencia de esta tesis, la presente investigación tiene por objeto hacer una comparación entre las herramientas Lean y su adaptación en el sector de la construcción logrando identificar cuáles son las de mayor uso en las etapas de sus procesos de construcción, cuáles permiten tener un flujo continuo para una mejora continua, reduciendo o eliminando todo tipo de desperdicios y permitiendo adherirlas a sus procesos y cuál ha sido su impacto en el entorno general.

Por último, el trabajo de investigación de Lyon Vial (2018) denominado “Aplicación del enfoque Lean a la dirección de proyectos en la industria de la construcción” tiene por objetivo comprender la aplicación de las prácticas y metodologías de la estrategia Lean en el direccionamiento de proyectos en el sector construcción, para ello, se efectuó un caso de estudio de un proyecto llamado “Construcción Paseo y Protección Borde Costero Sector Corazones” hecho por la constructora FV en el año 2017, donde se quería llevar a cabo la construcción de muros costeros, construcción de escaleras, gradas y rampas identificando variables como tiempo, costo, calidad, alcance, riesgos, comunicaciones y adquisidores. En la gestión de tiempo, se encontraron despilfarros como el exceso de actividades innecesarias que prolongan el tiempo planificado para la realización de la obra y no tenían un buen control en las actividades más críticas; en la gestión

de calidad, se presentaron pérdidas de documentos relacionados con la obra; en la gestión de comunicación se presentaron desperdicios como tiempos de espera al dificultarse el canje de información; en la gestión de riesgos, los trabajadores pierden tiempo al revisar los planes de riesgo por no tener conocimiento referente a los peligros y riesgos y en la gestión de adquisiciones, se presentó un exceso de compras de materiales que no eran necesarios generando inventarios, lo que ocasiona exceso de costos (Lyon Vial, 2018).

Por otra parte, en el 2015 se realizó un estudio denominado “Lean Diagnosis for Chilean Construction Industry” donde por medio de encuestas, entrevistas y talleres dirigidos a 7 empresas pretendían analizar la adopción de la filosofía Lean, arrojando resultados muy significativos el cuál se observaron algunos puntos que podían dificultar la implementación del Lean en las empresas, entre ellos están: el poco liderazgo, la no flexibilidad al cambio, la carencia de entrenamiento, de alineamiento del personal con los objetivos estratégicos empresariales y la falta de habilidades, todo ello, afectando en gran parte el progreso de las actividades (Lyon Vial, 2018).

En los casos anteriores se pudo observar algunos de los despilfarros que pueden presentar en los proyectos cuando estos no tienen una metodología definida e implementada para un mejoramiento en sus procesos, es importante recalcar que para que una empresa tenga éxito debe mantener una cultura organizacional fuerte, si el equipo de trabajo no está conectado con la organización, difícilmente se van a obtener buenos resultados, sumado a esto, aquellas empresas que presentan despilfarros en sus procesos es de vital importancia hacer una reingeniería ajustando metodologías como la implementación de herramientas Lean para mitigar actividades innecesarias que no generan valor y poder alcanzar los objetivos propuestos, como se ha podido observar, el pensamiento Lean no solo impacta al sector manufacturero, sino también hace un aporte en sectores como el de la construcción si se lleva a cabo la implementación de las técnicas de forma adecuada.

La tesis de referencia busca a través de casos de estudio la introducción de la construcción esbelta en el logro de un objetivo en proyectos del sector construcción, mejorando la gestión en todas sus etapas, a diferencia de la presente investigación, esta busca encontrar el resultado proveniente de la implementación de las técnicas Lean en la construcción y la semejanza que hay a la hora de adaptar estas herramientas al sector, determinando las ventajas o desventajas que se pueden presentar.

3.2. Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico permite realizar un seguimiento a las revistas científicas, publicaciones, trabajos de grado, artículos científicos, etc, que tiene como objetivo proporcionar información relacionada a la implementación de las técnicas lean manufacturing en el sector de la construcción, para ello, se planteó una ecuación de búsqueda que involucra palabras clave como: Construcción, Lean Construction, Construcción Ágil, Sector Construcción, Industria de la Construcción, Técnicas y Métodos, las cuales revelan los aspectos más importantes que se observan en la investigación utilizando como motor de búsqueda SCOPUS siendo una de muchas de las bases de datos brindadas por la universidad.

Tabla 2

Ecuación de búsqueda

Base de datos	SCOPUS
Ecuación de búsqueda	TITLE-ABS-KEY ((“Lean philosophy” OR “Lean Production” OR “Lean manufacturing”) AND (“methods” OR “Leantools” OR “5S” OR “5 S’s” OR “Kanban” OR “VSM” OR “Value Stream Mapping” OR “A3” OR “Poka Yoke” OR “SMED” OR “Single Minute Exchange of Die” OR “JIT”

OR “Just a time” OR “Kaizen”) AND (“Lean construction” OR “agile construction” OR “lean in construction”) AND (“Construction” OR “Construction sector” OR “construction industry”))

En la tabla 2 se puede observar la ecuación de búsqueda creada para ubicar documentos con información verídica en la base de datos SCOPUS, el cual, es una herramienta robusta y potente que permite encontrar información con un seguimiento de análisis y una mejor visualización para la investigación.

Tabla 3

Resultados encontrados en la base de datos SCOPUS

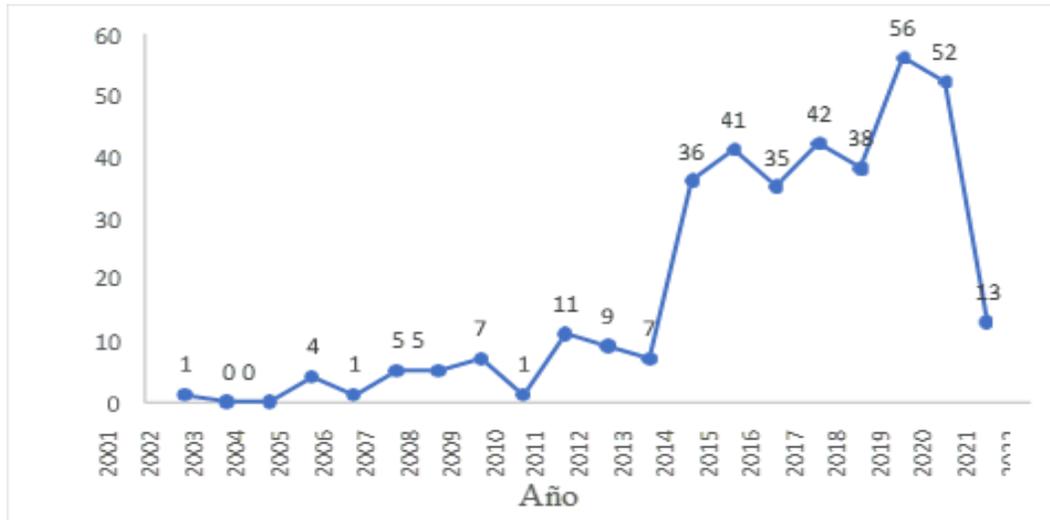
Base de datos	SCOPUS
Cantidad de documentos arrojados	364

En la Tabla 3 se visualiza 364 documentos arrojados por la base de datos, en los cuales se puede encontrar información general de todos los documentos relacionados con la temática a trabajar. Con base en los resultados obtenidos por SCOPUS se desarrolla el siguiente análisis: Para llevar a cabo el cumplimiento del objetivo 1 se hace un análisis bibliométrico a los documentos encontrados.

Para la selección de artículos, se hizo revisión del abstract de cada uno, eligiendo aquellos que contienen información acerca de la aplicación del lean dentro del sector construcción.

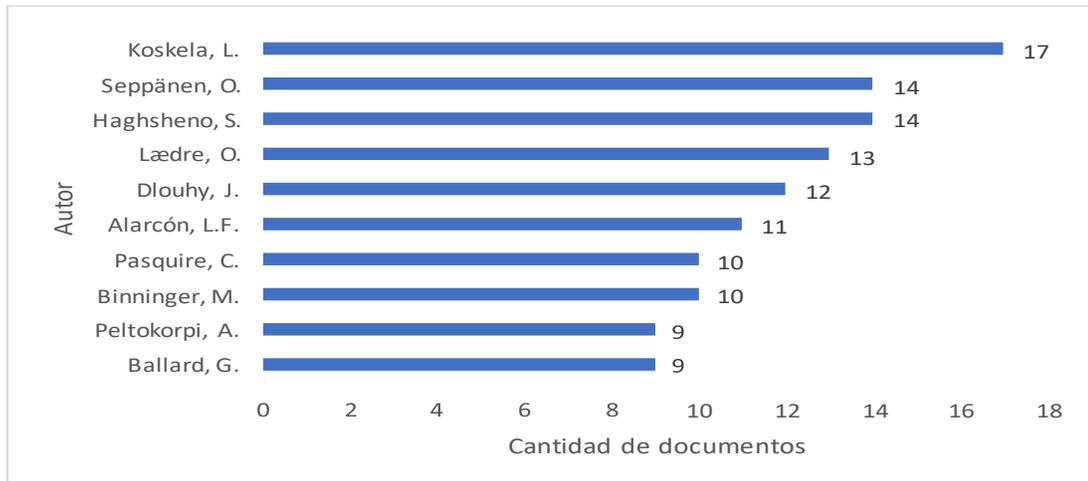
Figura 1

Documentos publicados por año según la ecuación de búsqueda preliminar



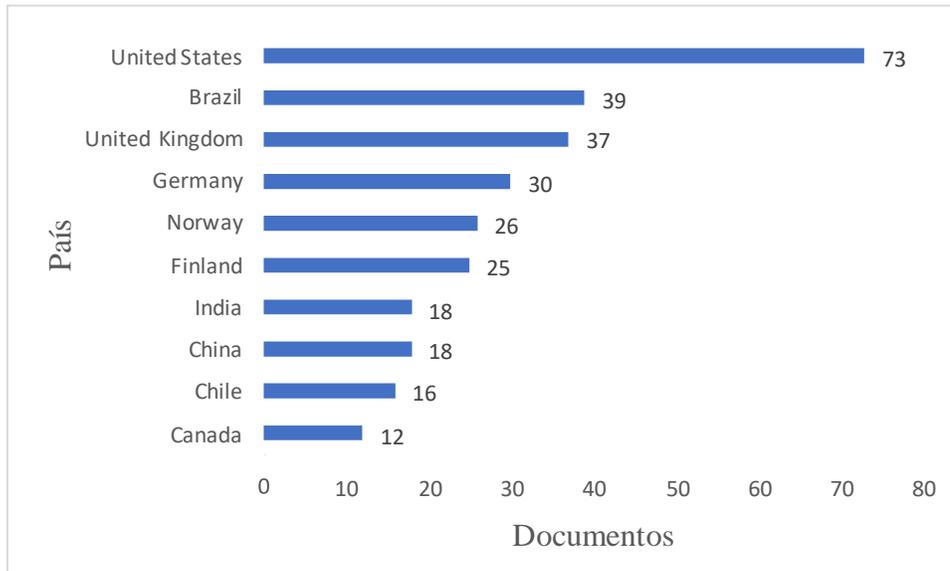
Nota: Tomado de la base de datos SCOPUS

En la Figura 1 se muestra la cantidad de documentos publicados por año a partir de 2002 hasta 2021, desde el año 2002 a 2004 hubo un comportamiento casi nulo, del 2005 a 2013 se observa un incremento presentando algunas caídas, sin embargo partiendo del 2013 al 2019 hay una tendencia bastante considerable, lo que posibilita ver que con el paso del tiempo la temática en estudio se fue expandiendo permitiendo mayores investigaciones, ya para el 2020 al 2021 se presentó una tendencia negativa y del 2021 a la actualidad está sujeto a un crecimiento o decrecimiento.

Figura 2*Documentos por autor*

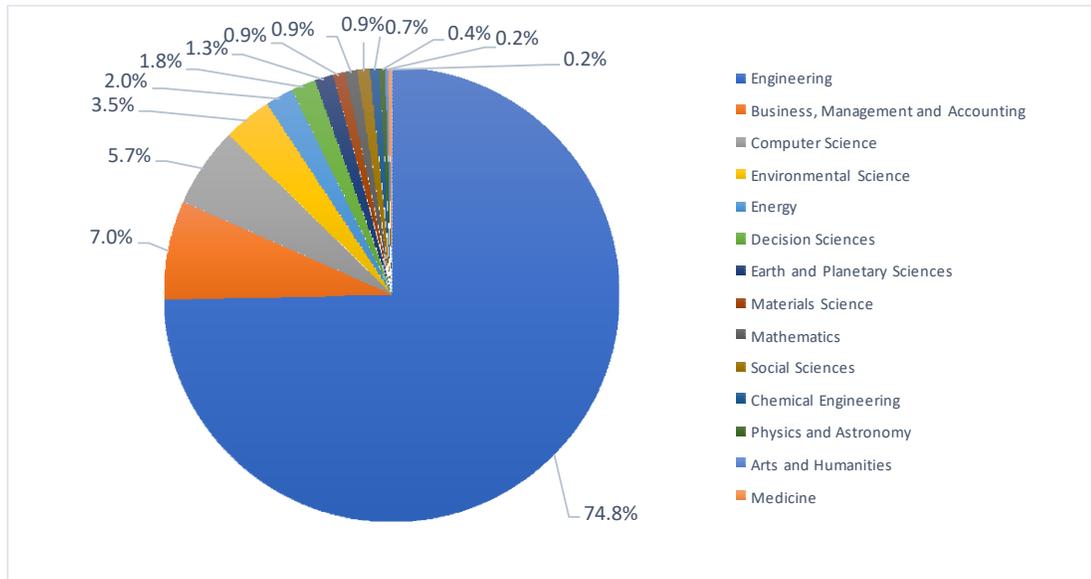
Nota: Tomado de la base de datos SCOPUS (Tomando como base a 10 autores)

En la Figura 2 se presenta la cantidad de documentos publicados por 10 autores escogidos por la misma base de datos, quienes son los que hasta la fecha (2021) han realizado la mayor cantidad de publicaciones respecto a la temática de estudio.

Figura 3*Documentos por país*

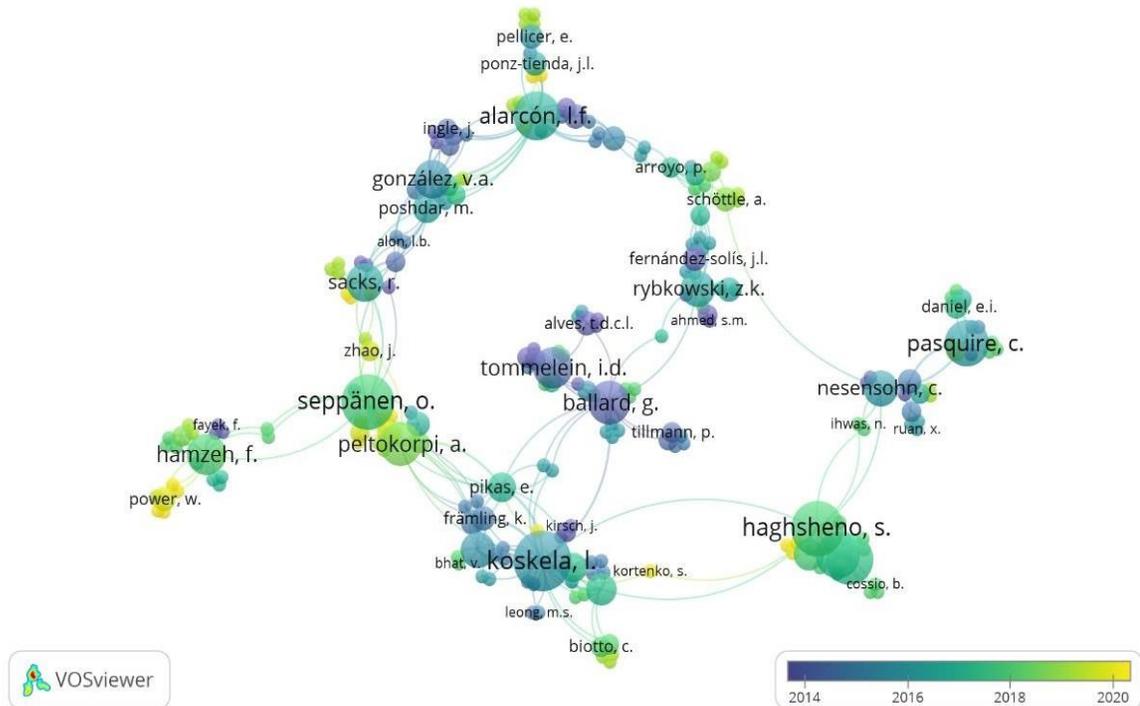
Nota: Tomado de la base de datos SCOPUS (base 10 países)

La Figura 3 Muestra los 10 principales países que en el tiempo expresado desarrollan documentos relacionados con el estudio del lean construcción y sus metodologías. En primer lugar, se encuentra Estados Unidos que presenta 61 documentos de investigación publicados en la plataforma, seguido del reino unido con 34 publicaciones e India con 23, por lo que se puede decir que casi el 30% de los documentos publicados como producto de investigación al lean construction se encuentra en países de primer mundo, desarrollados, con gobiernos, sistemas educativos y económicos estables.

Figura 4*Documentos por área temática*

Nota: Tomado de la base de datos SCOPUS (14 áreas de conocimiento)

La Figura 4 muestra la proporción de gran cantidad de distintas áreas de conocimiento dentro de la investigación como lo son: Ingeniería, con una participación significativa al tema con 74,8%, seguido por áreas como: Administración de negocios, Tecnologías, Medioambiental, Energía, entre otras.

Figura 6*Red de autores con mayor citación*

Nota: Tomado del software VosViewer

En la Figura 6 se observa la conexión existente entre autores de los documentos con mayores citaciones desde el año 2002 hasta 2021, entre ellos se encuentra Koskela, L; Seppanen, O y Hagsheno, S.

Una vez revisada toda la información, se encuentra postulaciones guiadas al termino lean construcción desde Koskela (1992) siendo el primer impulsor del término “lean construcción” quien desarrolla 11 principios a partir de la producción ajustada para ser aplicados en el sector de la construcción: (1) Eliminar actividades existentes en el proceso que no agregan ningún valor al consumidor final o un cliente interno; (2) Incrementar el valor del producto final con base en lo

que pide el cliente porque el valor del producto se hace en relación con el valor para el cliente final o un cliente interno; (3) reducir la variabilidad porque al existir más variabilidad podría significar más actividades que no agregan valor al producto; (4) Llevar al mínimo el tiempo del ciclo, porque con menos tiempo, se eliminan la mayoría de las actividades que no agregan valor; (5) Simplificar minimizando el proceso, porque este principio puede ayudar a reducir la complejidad del mismo, minimizando los problemas que puedan ocurrir; (6) aumentar la flexibilidad de producción, porque agregar más flexibilidad sin aumentar los costos agregará más valor al cliente final; (7) aumentar la transparencia del proceso, ayudando a encontrar los problemas existentes en la producción; (8) centrar el control en el proceso completo, en lugar de tratar de mejorar solo actividades específicas, para no perder de vista el proceso completo de producción; (9) incorporar la mejora continua al proceso para tratar siempre de mejorarlo; (10) equilibrar el flujo y la conversión, porque ningún tipo de mejora se puede pasar por alto o mejorar en exceso sin considerar la otra; y (11) benchmark, para utilizar principalmente casos exitosos de procesos de flujo de otras industrias. minimizar los problemas que puedan ocurrir (Fritz Benachio et al., 2021).

Al introducirse estos principios en la construcción, busca solucionar problemas existentes del modelo de conversión predominante en esa industria. En este modelo, no hay diferenciación entre actividades de conversión (aquellas que agregan valor) y actividades de flujo (aquellas que no agregan valor) (Fritz Benachio et al., 2021).

Pekka Huovila y Lauri Koskela presentaron la relación entre la construcción lean y la sustentabilidad en 1998, durante su discusión sobre el potencial de las prácticas Lean en el alcance del propósito de desarrollo sustentable (Carvajal-Arango et al., 2019).

4. Conceptualización de lean manufacturing y lean construction

4.1. Desperdicio como base del Lean

Según Lara, 2018, hoy en día el marco empresarial enfrenta cambios radicales en pro a su beneficio, gracias a que se puede encontrar un entorno más complejo, competitivo y globalizado, estos cambios conducen a que las empresas mejoren sus procesos con el fin de agregarle valor al cliente y mantenerse en el mercado.

Para mantener equilibrada una empresa en el mercado y logre ventajas competitivas debe tener claro la importancia y la necesidad de agregarle valor al producto y/o servicio a través de la eliminación de todo tipo de desperdicios o también denominados despilfarros o mudas presentes en cada fase del proceso, ya que, estos impactan de forma negativa en las actividades de la empresa dificultando el logro de los objetivos y ocasionando un crecimiento en los costos, demoras en el tiempo de entrega, disminución en la productividad, entre otros.

Según Hernández & Vizán, 2013 , se añade valor en el momento en que las actividades transforman las entradas convirtiéndolas en salidas que el cliente se dispone a comprar. En el proceso de transformación muchas empresas presentan desperdicios, conocidos como aquellas actividades sin valor agregado o que no son necesarias para la fabricación y deben ser eliminadas, sin embargo, hay actividades que no añaden valor, pero son necesarias, por lo tanto, esos desperdicios se deben asumir, por otro lado, el Institute Lean Chile, 2020 establece que también se busca la satisfacción del cliente a través de la reducción de los recursos por medio de la eliminación de desperdicios y así agregarles valor. De todo lo nombrado anteriormente se emplea el concepto “Lean”.

Según Hernández & Vizán, 2013: El Lean es una filosofía que se enfoca en eliminar el desperdicio a través de la aplicación de varias técnicas que a su vez busca agregar valor al cliente y originar una transformación en la cultura organizacional. Para eliminar los desperdicios se deben

tener en cuenta 3 pasos: Identificar el desperdicio dentro del proceso, determinar la técnica más adecuada y aplicarla en el proceso para eliminar dicho desperdicio, estandarizar e iniciar nuevamente el ciclo.

Según PRODUCTION TOOLS, 2021: En toda empresa existen despilfarros en su cadena de suministro y un despilfarro o muda son actividades que no brindan ningún valor al producto, pero consume recursos, según Taiichi Ohno los clasificó en 7 tipos de desperdicio:

1. Sobreproducción: Se presenta cuando la producción no se ajusta a la demanda y se fabrica mayor cantidad de producto del que se necesita.
2. Transporte: Se presenta cuando existe un exceso de distancia entre recursos como máquinas en las líneas de producción y que pueden ralentizar los procesos.
3. Tiempo de espera: Es el tiempo que se pierde cuando un operario o una máquina se encuentra esperando el próximo paso del proceso y esto puede surgir por una pieza defectuosa, no programar bien el trabajo o falta de materiales.
4. Tiempo de procesos innecesarios: Es el tiempo que se presenta cuando en la cadena de suministro existen procesos repetidos e innecesarios y que no agregan valor.
5. Inventario: Se presenta cuando hay exceso de stock.
6. Movimientos: Son aquellos desplazamientos innecesarios de todo el personal que consumen tiempo y no aportan valor al proceso de fabricación.
7. Defectos en el producto: Se presenta cuando hay productos que no cumplen con las especificaciones, cualquier defecto genera cargas adicionales como material, tiempo y recursos de trabajo para remediarlo.
8. Talento: Se presenta cuando la empresa desaprovecha todo el potencial que el personal tiene para ofrecer.

A continuación, se presentan algunas de las empresas que según Hanna, 2015, obtuvieron resultados significativos gracias a la implementación del lean:

El conglomerado industrial estadounidense Textron, tiene su propio combustible y crearon un modelo exclusivo denominado “Textron’s Lean Six Sigma Standards” que se trata de un conjunto de técnicas que se aplican a las áreas operativas y funcionales para eliminar desperdicios, fomentar la innovación y acelerar el crecimiento.

La compañía Ford disminuyó considerablemente los desperdicios de los procesos gracias a la implementación del lean manufacturing y en su libro “Mi vida y el trabajo” quiso demostrar que gastar en aspectos como el mejoramiento era crecer porque no sólo reducían los desperdicios sino también aumentaba la eficiencia.

Y así sucesivamente se pueden encontrar variedad de empresas que han sido partícipes de esta metodología y que han logrado grandes beneficios.

4.2. Principios del Lean

Según la Corporación Universitaria Asturias, n.d. el lean manufacturing cuenta con 5 principios clave que son la base para su implementación:

4.2.1. Valor

En este principio el cliente es quien determina el valor del producto independientemente de la opinión del fabricante, lo que quiere decir que el producto o servicio debe satisfacer la necesidad del cliente ajustándose a lo que este busca, por lo tanto, es el consumidor el que le da valor al producto o servicio (p,7).

4.2.2. Cadena de valor

Se refiere a toda la cadena de operaciones independientemente si agregan o no valor, que se necesitan al fabricar un producto desde la recepción de materias primas hasta que llega al consumidor (p,8).

Figura 7

Secuencia de actividades que responden a una necesidad



Nota: Tomado de Asturias Corporación Universitaria (p,8).

La Figura 7 muestra el flujo de valor que se refiere a la secuencia de actividades que requiere un producto para terminar en las manos del consumidor final logrando satisfacer sus necesidades.

4.2.3. Flujo

Se refiere a la eliminación de actividades u obstáculos que causan suspensión en los procesos, consiguiendo una continuidad de manera fluida y reduciendo tiempos en toda la cadena de valor, para ello se debe tener en cuenta algunos requisitos (p,9,10):

- Organizar en línea los puestos los puestos de trabajo de acuerdo con las operaciones.
- Utilizar los recursos fundamentales y necesarios.
- Fijar el proceso pieza por pieza.
- Adaptar las operaciones a un sistema pull.

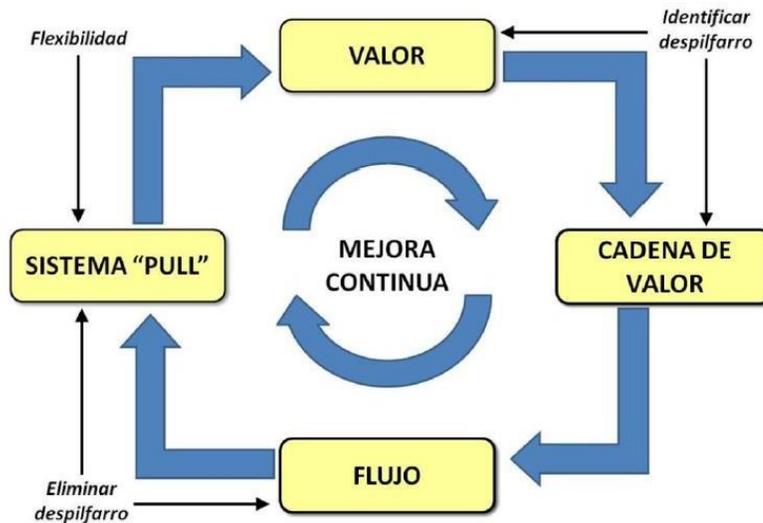
- Formar operarios que se puedan desempeñar en distintas funciones.
- Crear trabajadores polivalentes.
- Rotar a los operarios para una mayor adaptación a los cambios de operación.

4.2.4. Sistema Pull

Consiste en operar únicamente con la demanda del cliente independientemente de la demanda potencial, produciendo sólo lo que el cliente necesita, tirando así la producción a medida que demandan productos evitando inventarios, menos despilfarros, haciendo un mínimo esfuerzo y favoreciendo a respuestas inmediatas (p,10,11).

4.2.5. Perfección (Mejora Continua)

Consiste en que los 4 principios anteriores deben ser permanentes para conseguir una mejora continua. Realizar un seguimiento constante en las operaciones, permite descubrir y eliminar todo aquello que no genera valor, conseguir la perfección es imposible, pero a través de la reevaluación se puede obtener mejores resultados en la rentabilidad y se crearan ventajas competitivas que son uno de los factores diferenciadores de las empresas (p,12).

Figura 8*Ciclo de Principios Lean*

Nota: Tomado de ASTURIAS CORPORACIÓN UNIVERITARIA (p,12)

Es importante que los 5 principios funcionen al mismo tiempo para ir eliminando lo que no agrega valor y crear una mejora continua.

4.3. Lean Manufacturing

Tejeda, 2011 Afirma que:

Es un sistema de actividades que se interrelacionan para mejorar los procesos de una empresa u organización y tiene como objetivo mitigar o eliminar actividades que no agregan valor a las que comúnmente se les denomina despilfarros o mudas, cuando se consigue minimizar estos desperdicios se optimizan tiempo, mejora la calidad y disminuyen los costos en un lapso corto de tiempo (p.282)

Para ello es necesario conformar equipos de trabajo con personal capacitado delegándoles autoridad para tomar decisiones respecto a propuestas de mejoramiento que sean en pro del beneficio de las empresas u organizaciones (p,282).

- Técnicas

El sistema Lean posee una variedad de técnicas que son las que hacen posible conseguir un mejoramiento en las empresas u organizaciones de los distintos sectores, la aplicación de esta requiere un diagnóstico que permita realizar un plan de acción para conseguir el objetivo. A continuación, se encuentra una clasificación de las técnicas lean manufacturing.

4.3.1. Técnicas y herramientas de registro y análisis

Se pueden encontrar técnicas como:

4.3.1.1. Reporte A3. Según Gemba Academy, 2017: Es una herramienta de resolución de problemas que permite identificar los elementos más críticos de un problema basándose en el ciclo PDCA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), la estructura del reporte A3 lleva la siguiente información: Estado actual (refleja el problema que se va a resolver), antecedentes y apoyo (se comparten hechos y números), analizar la causa raíz (se usan herramientas como el análisis de los 5 ¿por qué?, diagrama Ishikawa), plan de acción (se documenta las acciones correctivas de la causa raíz, quién es el responsable de la acción, qué es la acción y cuándo se debe llevar acabo) y revisión y seguimiento (se verifican los resultados, cómo, cuándo y qué se está haciendo para verificar los resultados).

4.3.1.2. Value Stream Mapping (VSM) o Mapa de Flujo de Valor. Según ISO Sistemas de Gestión, 2020: Es una representación gráfica que permite entender el flujo, detectar actividades sin valor agregado en las operaciones y establecer mejoras en el flujo de producción.

4.3.1.3 Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos. Según A. Zuashkiani, H. Rahmandad & A. K. S. Jardine, 2011, (Citado por S.F et al., 2017): Es un indicador que facilita información a la hora de medir la eficiencia productiva de las máquinas y el desempeño de la operación durante su tiempo de trabajo, para hacer un seguimiento se clasifica en 3 medidas; Disponibilidad, Rendimiento y Calidad; el producto de estos tres factores determina la eficiencia productiva (p,463,464).

Por otro lado, las siguientes herramientas de control de calidad son de gran ayuda para la mejora de procesos y la resolución de problemas de las empresas.

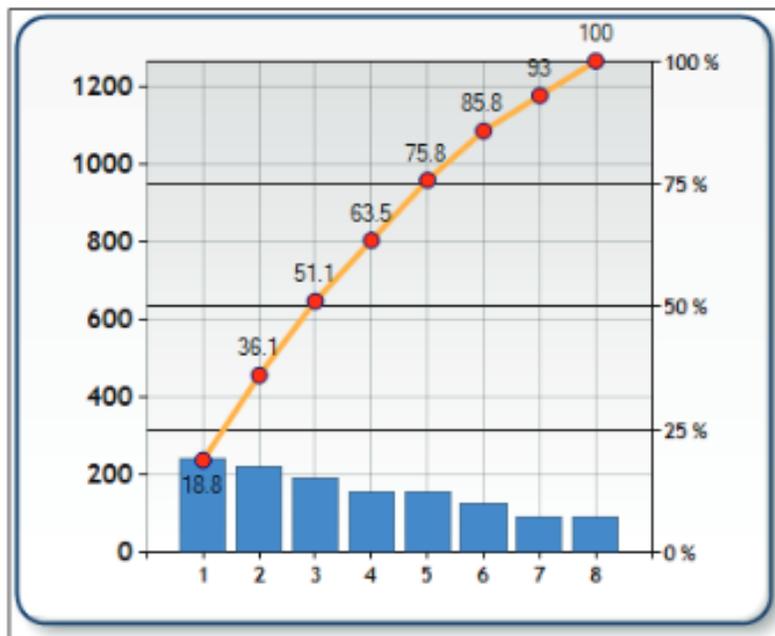
4.3.1.4 Matriz de auto calidad (MAQ). Rajadell & Garriga, 2003 , afirman que: Es una herramienta que indica en qué momento y lugar se detectan y producen los defectos y así tomar las acciones pertinentes para corregirlos y conseguir el cero defectos (p,1).

4.3.1.6 Por qué. Según EAE business Schol, 2022: Es una técnica que se basa en preguntar al menos 5 veces ¿Por qué? para explorar y determinar las posibles causas de un problema, luego de no poder responder un por qué, es posible que se haya identificado su causa principal.

4.3.1.7 Diagrama de Pareto. Según Kume, 2008: Es una gráfica de barras que plantea la teoría del 80 – 20, en donde el 20% de las causas generan el 80% de los problemas, cada una de las barras representa las causas de un problema permitiendo priorizarlas desde la causa de mayor impacto a la de menor impacto individualmente (p, 34).

Figura 10

Diagrama de pareto



Nota: Tomado de <https://docplayer.es/78310247-escuelapolitecnicacional.html> (p,14)

4.3.1.8 Diagrama Yamazumi. Según Ariyanti et al., 2020: Se usa como herramienta para el balanceo de líneas, la herramienta Yamazumi es un gráfico compuesto por barras que refleja el tiempo de ciclo total de cada operario al realizar sus procesos en el flujo de producción.

4.3.2. Técnicas operativas

4.3.2.1 Single-Minute Exchange of Dies (SMED). Hernández & Vizán, 2013, afirman que es un método que busca reducir los tiempos de preparación de máquinas a través del estudio detallado del proceso e implementando cambios en herramientas, máquinas o en el producto. Es una metodología que al aplicarla se obtiene resultados satisfactorios y rápidos, a los que no se les hace una gran inversión, pero se necesita constancia para conseguir lo que se desea (p,42). La mitigación de los tiempos de fabricación es importante por:

- Si el tiempo de cambio entre piezas de fabricación es alto, entonces los lotes son grandes y se requiere de una inversión más alta para inventarios.
- Si el tiempo de cambio entre lotes de fabricación es muy mínima, estos pueden producirse día a día evitando inventarios.

4.3.2.2 KANBAN. La UNIVERSIDAD ESAN, 2015, establece que es un sistema de control que se basa en tarjetas visuales o carteles que divide el proceso productivo permitiendo la realización de actividades de una forma efectiva posibilitando mantener estándares de alta calidad, un mejor control de inventarios y una mejor organización de la producción evitando cuellos de botella.

4.3.2.3 5'S (5 ESES). Según *Hernández & Vizán, 2013*: Es un método que se basa en los principios de orden y limpieza en el entorno laboral y consta de 5 palabras que empiezan por S: Seiri (Separar y eliminar), Seiton (Arreglar e identificar artículos innecesarios), Seiso (Limpiar diariamente), Seiketsu (Definir métodos de orden y limpieza) y Shitsuke (Construir un hábito) (p,36).

4.3.2.4 Poka Yoke. Para Salazar, 2019: Es un mecanismo a prueba de errores, que sirve para evitarle a las personas errar en los procesos y que estos no se conviertan en un defecto, se considera como un recurso de inspección, lo que permite inmediatamente la toma de acciones y la implementación de medidas correctivas.

4.3.2.5 Jidoka. Según *Hernández & Vizán, 2013*: Se considera como autoformación o automatización con un toque humano y es la incorporación de dispositivos o sistemas que le permite a las máquinas detectar fallas o errores en un momento determinado y en caso de que esto ocurra, el proceso se detiene automáticamente o con ayuda de un operario imposibilitando que una pieza con defectos continúe el flujo del proceso permitiéndole tener su propio autocontrol y produciendo piezas con cero defectos convirtiendo a los operarios y máquinas en inspectores de calidad. Aquí es más importante tener un control en el proceso que en el producto (p,55).

4.3.3 Facilitadores para Implementar LEAN

4.3.3.1 Sistema de Participación del Personal (SPP). Según Quintero, n.d. son grupos de trabajos que buscan identificar competencias y limitaciones del personal de cualquier empresa u organización para supervisar el desempeño de sus actividades.

4.3.3.2 Sentido de Pertenencia. Según Amaya, 2019 impacta de forma positiva el clima laboral, los equipos de trabajo, las relaciones entre los trabajadores y contribuye a aumentar el compromiso, el desempeño y sobre todo la motivación entre los trabajadores de una empresa u organización.

4.3.3.3 Estandarización. Es una descripción gráfica o escrita que permite entender la adaptación de normas a un proceso con el objetivo de fabricar productos de buena calidad, inocuos, a buen precio y en menor tiempo. En el entorno japonés, para conseguir la mejora continua y el éxito de su sistema, se debe seguir los siguientes pasos (p,45,46).

- Definir el procedimiento.
- Mejorar los pasos.
- Verificar el efecto de la mejora.
- Se estandariza.
- Se aplica el kaizen en el estándar.

Un estándar debe existir si en el proceso se emplean máquinas, mediciones, métodos, materiales, información, mano de obra y debe cumplir las siguientes características (p,46):

- La norma debe tener descripciones claras y concisas.
- Aplicar mejoras ya establecidas con técnicas eficaces.

- Asegurar el cumplimiento.
- Utilizarlos siempre como puntos de partida.

Hay muchos tipos de estándares en una empresa y las más importantes son:

- Control de calidad.
- Gestión de quipos.
- Gestión de operaciones y oficina técnica.
- Gestión de control de producción.

4.3.3.4 Control visual (Andon). Es la agrupación de técnicas de comunicación y control visual a través de señales visuales que permite al personal la facilidad de comprender el estado del sistema y a su vez exige un mayor compromiso y un cambio cultural de todos los trabajadores (p,52).

4.3.3.5 Heijunka. Es la agrupación de herramientas que se utilizan para planificar y equilibrar la demanda en todos sus aspectos, permitiendo un flujo continuo pieza por pieza a lo largo del tiempo (p,69).

4.3.3.6 Mantenimiento Total Productivo (TPM). Son acciones que buscan eliminar los desperdicios en tiempos de paradas de las máquinas con la colaboración de todo el personal, incluyendo mandos superiores y para ello se establecen 4 objetivos (p,48):

- Mejorar la eficiencia del equipo.
- Al diseñar la máquina se debe desarrollar un sistema de mantenimiento productivo.
- Involucrar a los departamentos que tienen relación con los quipos.

- Involucrar a todos los empleados.

4.3.3.7. Ciclo Deming (PDCA: Planear, hacer, verificar, actuar). Según Quiroa, n.d. Es un método que se usa para resolver situaciones imprevistas dentro de un proceso y que aplica la mejora continua, permite a las empresas aumentar sus estándares de calidad, mejorar el rendimiento y su productividad, ya que, el trabajo propuesto se alinea con el alcance de los objetivos estratégicos de las empresas. Consta de 4 etapas:

- **Planificar:** Analizar el estado de la empresa y establecer sus necesidades para determina los objetivos y lo que van a llevar a una mejora continua.
- **Hacer:** Se debe implementar un plan de acción para darle cumplimiento a lo propuesto.
- **Verificar:** Es el proceso de control que se debe seguir luego de implementarse el plan haciendo valoraciones para verificar que todo vaya por el camino correcto.
- **Actuar:** Se analizan los datos obtenidos y con ellos se elabora un informe, si los resultados no resultan siendo favorables se hacen sus respetivos cambios de lo contrario la mejora se implementa de forma permanente.

4.4. Lean Construction (construcción sin perdidas)

El Lean Construction Institute (Citado por Pons & Fundación Laboral de la Construcción, 2014) lo define así:

Es una forma de mejorar los procesos en el sector construcción basados en el sistema Toyota provocando una evolución en el sector industrial. Esta filosofía busca maximizar el valor,

minimizar desperdicios, mejorar el rendimiento, reducir los costos y aumentar la velocidad de las actividades aplicando técnicas que permitan entregar un producto de calidad (p,27,28).

4.4.1 Herramientas de lean construction

Pons & Fundación Laboral de la Construcción, 2014, definen las herramientas así:

4.4.1.1 Lean Project Delivery System (LPDS). Es un sistema colaborativo que permite tener una visión más grande acerca de las actividades a desarrollar en un proyecto de construcción desde el punto de vista Lean, el grupo tiene por objetivo ofrecerle al cliente el mejor valor eliminando actividades que no agregan valor, permitiéndole a los propietarios del proyecto tomar decisiones en pro de su beneficio (p,38).

4.4.1.2 Integrated Project Delivery (IPD). Es un enfoque que incorpora estructuras, sistemas e ideas del personal utilizando los conocimientos, experiencias, puntos de vista e ideas del talento humano para brindarle al cliente un proyecto de la mejor calidad aumentando su valor y la eficiencia en todas las etapas del proyecto. Se basa en el staff y la certeza para que los trabajadores dejen a un lado sus intereses y metas personales y se centren en obtener resultados positivos del proyecto (p,45).

4.4.1.3 BIM (Building Information Modeling). También se conoce como Modelado de Información de Construcción y es un método de trabajo que integra a todo el personal que hace parte de un proyecto, operando de forma colaborativa para obtener información acerca del mismo en tiempo real y poder tomar decisiones (p,52).

Según Pons & Fundación Laboral de la Construcción, 2014: Un supuesto que establece el BIM es:

Una colaboración de las diferentes partes interesadas en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio o instalación para insertar, extraer, actualizar o modificar la información contenida en el BIM para apoyar y reflejar el papel de las partes interesadas (p,52).

4.4.1.4 El Last Planner System o Sistema Último Planificador (LPS). Es un sistema que se basa en la motivación y colaboración del personal involucrado en el proyecto y tiene como objetivo entregar un flujo de trabajo seguro permitiendo tener un control de “lo que debería hacerse”, “lo que se puede hacer”, ”lo que se hará” y “lo que realmente se hizo” de la planificación y de las actividades asignadas a los trabajadores, a su vez, con la implementación de este sistema no hay necesidad de crear planes de contingencia, programas extras y demás actividades que no agregan valor (p,55).

4.5. Técnicas operativas de lean production con mayor frecuencia dentro del sector de la construcción

A continuación, se puede tener una descripción de los documentos encontrados en la revisión de la literatura referente a las técnicas del lean manufacturing aplicadas a la industria

constructora, además, en el apéndice E, se encuentra una tabla que registran una pequeña descripción de las técnicas usadas en la documentación encontrada junto con su respectivo vínculo. La tabla 4 presenta la cantidad de documentos que mencionan el uso de las técnicas dentro de la ejecución de un proyecto.

Tabla 4

Cantidad de documentos encontrados respecto a cada una de las técnicas nombradas

Técnica	Cantidad de documentos
5'S	16
POKA YOKE	8
KANBAN	8
JIDOKA	0
SMED	1
VSM	7
OEE	1
A3	3
MAQ	0
YAMAZUMI	0

Las técnicas Lean han logrado grandes beneficios no solo en empresas del sector manufacturero sino también en el sector salud, sector construcción, sector textil, entre otros sectores, muchas empresas consideran estas técnicas importantes, ya que, proporcionan un aumento en la eficiencia y la eficacia de las empresas permitiendo reducir costos, tiempos, esfuerzo del personal, aumentar la competitividad entre empresas, la rentabilidad y la

productividad eliminando todo tipo de actividades que no agregan valor. Es importante entender que para que la aplicación de las técnicas sea exitosa, se debe capacitar a todo el personal y crear una cultura Lean, donde todos tengan la disposición de generar en sí, un pensamiento autónomo y responsable para ir de la mano con la misión de la empresa u organización.

- 5'S

El gerente de producción Cesar Guzmán, en el congreso nacional lean construction en 2017 habla de las técnicas Lean implementadas en el sector construcción que han tenido éxito en sus procesos destacando entre ellas las 5'S como una de las más importantes, ya que permite mejorar la gestión del trabajo observando un ambiente más limpio y ordenado, ofreciendo mayor seguridad al trabajador, aplican las 5'S de la siguiente manera: Seiri que se traduce como seleccionar, busca identificar los materiales que son y no son necesarios haciendo un levantamiento de aquellos materiales, escombros, herramientas que pueden generar todo tipo de desperdicio y pueden causar accidentes. Seiton que se traduce como organizar, busca establecer zonas para delimitar lugares como zonas de escombros, residuos, acopios, etc. Seiso que se traduce como limpiar, busca delimitar zonas para cada material con su respectiva limpieza y señalización aplicando gestión visual indicando lo que va en ese lugar. Seiketsu que se traduce como estandarizar el proceso, explica al equipo de trabajo como debe ser el funcionamiento y Shitsuke que se traduce como generar el hábito, busca que el personal adquiriera el hábito de aplicar las 4 eses anteriores imponiendo a una persona semanalmente para verificar el cumplimiento de la implementación (Lean Construction Institute PERÚ, 2017).

Se menciona que las 5'S es una de las técnicas con mayor uso en el sector debido a la capacidad que tiene para reducir material acumulado innecesario, tener un ambiente más ordenado

permitiendo reducir las emisiones de carbono y ayudando con la sostenibilidad del medio ambiente (Fuenzalida et al., 2016).

La investigación arrojó casos de estudio en donde se identifica cuantitativamente los resultados del uso de la técnica, en un proyecto se identificaron pérdidas que se observaron en el proceso de la realización de elementos estructurales como vigas, columnas, placas, etc., luego de identificarlas utilizaron la metodología 5'S para evaluar los efectos de la introducción del Lean en el proceso, concluyendo que las 5'S tuvieron un resultado positivo del 8.1% en la productividad de la mano de obra (Corahua & Lozano, 2017). En otro caso, se hicieron encuestas a trabajadores asociados con distintas ramas dentro del sector construcción, como contratistas, desarrolladores, consultores independientes, profesionales académicos, entre otros, para recopilar información acerca de las técnicas Lean más importantes incorporadas en el sector construcción, se utilizó una escala Likert que permitió analizar los resultados concluyendo que las 5'S clasificada como una técnica de gestión visual obtuvo un 91% de importancia, considerándola como una de las técnicas más significativas basada en la organización y la calidad del área laboral que permite aumentar la eficiencia reduciendo o eliminando desperdicios (Singh & Kumar, 2021). De la misma manera, realizaron otro estudio a través de cuestionarios y entrevistas a trabajadores de la industria de la construcción China relacionadas con el rendimiento y la adaptación de las técnicas de la construcción ajustada, en donde querían probar la eficacia de la implementación de algunas de las técnicas lean, entre ellas las 5'S. Los resultados arrojaron que el 25% y 30% de las actividades que conlleva un proyecto de construcción, es el retrabajo causando un desperdicio de mano de obra entre el 30% y 60%, de material 10% y entre 10% y 20% costo total del proyecto, de allí parte la idea de implementar las herramientas Lean en el sector construcción para aumentar valor a los proyectos, minimizar todo tipo de desperdicios y ser más sostenibles, para ello una de las

herramientas que implementaron son las 5'S, donde se agrega una sexta S denominada Seguridad a las ya conocidas (Seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke) ayudando a evitar despilfarros creando ambientes más organizados para conseguir reducción de tiempos, menores costos, mejorar la calidad y seguridad en los proyectos, destacándose como una de las técnicas más efectivas en la obtención de beneficios en la industria de la construcción (Li et al., 2019), igualmente, en otro estudio, esta técnica proporciona un plan de trabajo semanal donde la limpieza de zonas arbitrarias o puestos de trabajo y la ubicación de materiales como los bloques y el cemento pueden llegar a reducir las actividades que no da valor a la cadena productiva (Shetty & Rao, 2019), así mismo, en el estudio de la implementación de las técnicas 5'S, se concluye un efecto positivo en cuanto el tiempo, la calidad, el costo, entre otros, cuando se aplica para clasificar, ordenar, brillar, regular y repetir los procesos (Shaqour, 2022).

Finalmente, se realizó una síntesis de la contribución de las técnicas Lean en la construcción y la evaluación de la eficacia de herramientas, como en el caso de las 5'S, que la aplican para promover la seguridad en el ambiente de trabajo, el estudio mostró que la implementación de dichas herramientas tiene un alto impacto en la mejora de la seguridad, disminuyendo peligros y motivando el compromiso del personal (Bajjou, Chafi, & Ennadi, 2017).

- POKA YOKE

Estudios demuestran el uso práctico que posee la técnica Poka Yoke en el sector construcción, en el primer caso, utilizaron Poka Yoke como un sistema de control en la elaboración de morteros para actividades específicas de la construcción (Bajjou, Chafi, Ennadi, et al., 2017), otro estudio se realizó para determinar los factores críticos de despilfarro que impactan de manera negativa en actividades de la cadena de valor y emplearon Poka Yoke para controlar la eficiencia del proyecto evitando que los defectos de calidad fluyan a lo largo del proceso de construcción

(Bajjou & Chafi, 2020), del mismo modo, a través de una encuesta por entrevista quisieron identificar las pérdidas que se observan en el proceso de la realización de elementos estructurales como vigas, columnas, placas, etc, luego de identificarlas utilizaron Poka Yoke como un sistema de inspección en los procesos cuando se presenta errores y defectos de piezas mal fabricadas de construcción (Corahua & Lozano, 2017), otro estudio en donde se recopiló información de profesionales de la construcción que diseñan, administran y construyen proyectos, concluyó que los resultados son compatibles a otros estudios ya hechos a nivel mundial en donde la implementación de las técnicas como Poka Yoke funciona para prevenir cualquier tipo de error y garantizar la calidad y la seguridad del proyecto de construcción (Shaqour, 2022).

Además, en el video “Ejemplo de Poka Yoke en la construcción” utilizan Poka Yoke para crear elementos de construcción con medidas exactas y así evitar errores durante el proceso (Hernandez, 2021).

Por otra parte, evaluaron la eficacia de técnicas como Poka Yoke que la utilizan como un sistema de alerta de fallas protegiendo zonas de alto riesgo a través de dispositivos audibles o visuales.(Bajjou, Chafi, & Ennadi, 2017)

La técnica Poka Yoke, se adaptó en la construcción, como método de información dinámica considerado como un sistema de advertencia, esto les permite a los trabajadores visualizar letreros en las obras con información actualizada, mejorando la seguridad de los trabajadores, mostrando información los posibles peligros a los que está expuesto un trabajador de acuerdo con el avance del proyecto. Finalmente, otro sistema Poka Yoke adaptado a la construcción son las bandas de seguridad reflectantes, que se considera como una medida preventiva para evitar caídas. Se recalca que la implementación de Poka Yoke depende del avance y de las necesidades del proyecto (Rubio-Romero et al., 2019).

- SMED

En Cúcuta, varias constructoras que ejecutan obras civiles desarrollaron una encuesta acerca de las fallas de los procesos en el sector construcción, concluyeron la carencia de las técnicas Lean y por consiguiente crearon estrategias para implementarlas y aumentar el valor agregado, una de las técnicas implementadas es SMED que se utiliza desde la planificación partiendo de la gerencia con el fin de llevar al mínimo los tiempos de preparación y cambio de las máquinas como compactadoras, mezcladoras de asfalto, rodillos, entre otros en obras civiles (Díaz & Rolón, 2020).

- OEE

Se hace uso de OEE para evaluar el rendimiento de la operación de una máquina de pilotaje y de esta manera evaluar la eficacia de las máquinas y la eficiencia de recursos como materiales, mano de obra, entre otros, para comprobar que el OEE puede aumentar la productividad de las obras (bin Anang & Hafifi Bin Tajry, 2020).

- KANBAN

En el sector de la construcción utilizan Kanban como un sistema de control basado en tarjetas visuales o carteles que divide el proceso productivo y se ajusta a las necesidades de cada proyecto, por otra parte, se aplica como un sistema de información y programación siguiendo parámetros sobre los cuales los trabajadores pueden conocer el tipo de actividad con sus respectivos recursos y cantidades para su desarrollo evitando acciones repetitivas y el desperdicio de materiales. En conjunto con JIT permite distribuir de forma eficiente los materiales, dando a cada actividad sólo los recursos necesarios (Bautista, 2015). También utilizan Kanban para controlar qué persona posee algún tipo de herramienta necesaria para la ejecución de cada actividad y al final de la jornada verificar si dicha herramienta se encuentra en su lugar correspondiente, de

no ser así, se sabe quién la posee (THINK PRODUCTIVITY, 2017), por último, Kanban funciona como una práctica de flujo de materiales para el transporte de grandes estructuras (Koohestani et al., 2020).

- VSM

En cada fase del proceso de construcción utilizan VSM y en cada una de ellas se identifican las actividades para analizar, detectar problemas y mejorar continuamente. La herramienta permite mantener un inventario de materiales y reducción de tiempos de construcción, los resultados sugieren que el proceso de hormigonado de columnas conduce a la reducción sustancial en horas, gracias a la adaptación de VSM en esta etapa de fabricación, finalmente se encuentra que la técnica ofrece cambios en 3 de las dimensiones del desarrollo sostenible que son el medio ambiente, economía y la sociedad (Germano et al., 2017). En Chennai (India), VSM es clave para inclinarse por el lean construcción como una técnica para cuantificar los residuos ocasionados en las actividades de construcción (Vilventhan et al., 2019).

- Reporte A3

La herramienta usada en la resolución de problemas identifica los elementos más críticos de un problema en las actividades a desarrollar en la construcción y se ajusta según las necesidades del proyecto. A3 analiza la gestión de acopio de material de obra y actúa como estrategia de comunicación en la toma de decisiones que involucran el diseño, aprendizaje y trabajo en equipo, en efecto se encuentra que, en conjunto con herramientas de calidad como diagrama de Ishikawa, se puede llegar a reducir el uso de materiales necesarios para la actividad evaluada (Fuenzalida et al., 2016), además, utilizan A3 para analizar la factibilidad de la variedad de diseños y elegir la más apta (Koskela et al., 2020), finalmente, A3 permitió identificar algunos problemas que dieron

paso a soluciones eficaces a tiempo fortaleciendo la productividad en la construcción de una tubería de 83 km (Zanotti et al., 2017).

En la revisión de la literatura también se encontraron documentos en donde actualmente en el sector se aplican técnicas como BIM, LPS y técnicas de gestión visual. Según Kariyawasam & Siriwardana, 2021, como resultado de una encuesta, también se han implementado otro tipo de técnicas utilizadas constantemente en Arabia Saudita como lo son: el mantenimiento total productivo, just in time y la mejora continua, dichas empresas que participaron en la encuesta consideraron excelentes resultados, además, también se ha implementado la estandarización, el sistema último planificador y herramientas de análisis como el 5 ¿por qué?. Según Li et al., 2019, otras de las técnicas más significativas del lean manufacturing en el sector construcción son el big room, el LPS, BIM y los tableros de visualización.

5. Cambios efectuados de las técnicas de lean manufacturing en el sector de la construcción

En el capítulo 5 se presenta información de acuerdo con la percepción de las autoras.

5.1. Técnicas que no se han incorporado en el sector construcción de forma amplia

Hasta ahora, se han estudiado las técnicas adaptadas a la industria de la construcción con mayor frecuencia, sin embargo, existen otras que su aplicación no ha sido ampliada según la investigación, como por ejemplo SMED, OEE y A3.

La técnica SMED se refiere a la optimización de los tiempos de alistamiento de máquinas o también se tiene en cuenta conceptos como el tiempo de cambio. Por otro lado, está el concepto de preparación que son las operaciones requeridas para el cambio de referencia y se divide en: preparación externa (Preparar la máquina cuando está trabajando) y la preparación interna

(Preparar la máquina cuando está apagada). Esta técnica no se incorpora de manera amplia en el sector, ya que, en el sector no hay flujo de producción, pero, hay una cadena de operaciones individuales que se interconectan, lo que hace innecesaria la implementación de esta técnica en proyectos de construcción, sin embargo, es necesario que la aplicación de SMED profundice en las operaciones individuales en la fase de ejecución para llevar al mínimo los tiempos de acondicionamiento y de cambio de máquinas para que la secuencia de actividades reduzcan sus tiempos y agreguen valor.

La técnica A3 se considera como una técnica basada en un formato de papel de tamaño 28cm x 43cm de donde proviene su nombre, busca dar soluciones a problemas y permite tomar decisiones para obtener una mejora continua basándose en el ciclo PDCA (Planear, hacer, verificar y actuar) caracterizada como una estrategia de trabajo que en la planificación analiza y establece las necesidades de una empresa, en la ejecución introduce un plan de acción para conseguir los objetivos, en la verificación, se asegura que todo marche bien y en la actuación se elabora un informe en donde se presentan los resultados y si son favorables el ciclo vuelve a iniciar, de lo contrario se hacen los respectivos cambios, para ello utilizan herramientas de análisis como espina de pescado, diagrama de Pareto, 5 why, etc. A3 se ha utilizado para la optimización de los residuos, el análisis de opciones de diseño de una construcción y el análisis de problemas de construcción en las empresas. Esta técnica no se incorpora de manera amplia en el sector, ya que muchas empresas no ven necesario aplicar el reporte A3 cuando la causa raíz de los problemas es bastante evidente y se solucionan haciendo uso de la lógica. Sin embargo, es recomendable que se aplique de manera permanente, ya que, al solucionar un problema con base en la lógica, no podría identificarse la causa o causas raíz y no se llegaría a eliminar el error, sino simplemente se repara momentáneamente dando paso a que se convierta en un defecto, tampoco brinda la seguridad de

que el problema se haya solucionado. Por otra parte, sería de gran ayuda realizar un A3 no sólo para identificar problemas en el proceso, sino también aplicado al personal con el fin de identificar las falencias y limitaciones en el desempeño de las actividades para conocer realmente si las causas raíz son por el proceso, por falta de conocimiento respecto a la obra o por causas personales y así crear un plan de acción para eliminarlas de raíz, dado que muchas veces se presentan fallas y no precisamente por el proceso, sino por los trabajadores.

Por último, la técnica OEE permite medir la efectividad real de las maquinas por medio de un indicador cuantificando la productividad de los procesos, analizando los 3 factores críticos como la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, algunas empresas miden el tiempo, la velocidad y la calidad, esto, con el fin, de identificar ineficiencias en las máquinas y definir cuáles son las causas que determinan desperdicios en los procesos y así nivelar la eficiencia. Esta técnica a pesar de que es muy importante, no se aplica en muchas empresas, OEE no se ha aplicado ampliamente en el sector posiblemente por falta de conocimiento e información acerca del propósito que tiene su aplicación en las empresas, puesto que es muy importante su incorporación, ya que, evalúa la efectividad de los recursos de la empresa permitiendo dar paso a posibles problemas y soluciones para una mejora continua en los procesos.

5.2. Comparación del sector manufactura y el sector construcción – cambios / diferencias

El sector de manufactura es aquel que se dedica en transformar materia prima para obtener un producto final de consumo, una de sus características es la fabricación de productos a través de una línea de producción de productos en grandes volúmenes o en masa y con características semejantes, mientras que el sector construcción contempla procesos por proyecto o bajo pedido,

es decir, no hay un flujo de producción, pero se lleva a cabo una secuencia de actividades en la obtención del producto final.

A continuación, se presentan varios cuadros comparativos respecto a cada una de las técnicas en donde se puede observar ¿dónde se aplica?, ¿cuál es el propósito?, y ¿cuál es el foco de análisis? tanto en el sector manufacturero como en el de la construcción.

Tabla 5

Comparación de 5'S entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

5'S	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	En estaciones de trabajo y en áreas compartidas de la fábrica.	En zonas y áreas arbitrarias del terreno de construcción.

¿Cuál es su propósito?	Mejorar la eficiencia operativa del proceso de producción despejando, ordenando y manteniendo limpias las áreas de trabajo por donde circulan los materiales y productos fabricados.	Mejorar las condiciones de trabajo con base en una buena organización, un ambiente más limpio e involucrar la gestión de la seguridad.
¿Cuál es el foco de análisis?	La falta de limpieza y el desorden en áreas de taller y estaciones de trabajo.	El desorden de herramientas, escombros y demás, el desaseo y la inseguridad que eso conlleva.

Tabla 6

Comparación de POKA YOKE entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

POKA YOKE	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	En estaciones de trabajo, con el fin de reducir el número de artículos	En zonas o áreas de alto riesgo de accidentes y en áreas de operación.

	defectuosos debido al error humano.	
¿Cuál es su propósito?	Evitar que se produzcan artículos defectuosos ocasionados por errores de tipo humano.	Reducir la variabilidad del proceso de construcción, mejorar la precisión en las actividades, identificar personal no autorizado en zonas de alto riesgo de accidentalidad, identificar errores en las actividades para evitar problemas futuros y brindar información al operario sobre los peligros a los que puede estar expuesto durante el avance de la obra.
¿Cuál es el foco de análisis?	Los defectos de los productos debidos a errores humanos.	Los defectos de las actividades que se estén desarrollando, la seguridad del trabajador.

Tabla 7

Comparación de KANBAN entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

KANBAN	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	Entre 2 estaciones de trabajo consecutivas.	En la fase de planeación de actividades y materiales.
¿Cuál es su propósito?	Regular y mantener balanceado la cantidad de unidades de producción	Mejorar la secuencia de actividades para coordinar e identificar cuellos de

	que fluyen permanentemente entre las estaciones de trabajo de talleres o fábricas.	botella, informar y programar las actividades para evitar la duplicidad y el desperdicio de material.
¿Cuál es el foco de análisis?	El flujo ordenado, nivelado y controlado de los productos que transitan a lo largo del proceso de producción.	El desperdicio de material, tiempo y el doble trabajo.

Tabla 8

Comparación de VSM entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

VSM	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	En iniciativas de gestión asociadas análisis y reducción del Lead Time de un proceso productivo.	En cada fase de los proyectos de construcción.
¿Cuál es su propósito?	Identificar alternativas de mejoramiento y reducción de tiempos del proceso productivo.	Identificar actividades que dan y no dan valor para reducir el

		tiempo que se emplea en cada fase como fuentes de residuo.
¿Cuál es el foco de análisis?	Movimiento constante de información, materiales o productos a lo largo del ciclo del servicio (desde que el cliente hace un pedido, durante su procesamiento, hasta la recepción del producto por el mismo)	El flujo de información y de material en cada fase del proceso de construcción.

Dado que el sector construcción actualmente aún no cuenta con la incorporación de manera amplia de algunas herramientas como SMED, OEE y A3, se realiza una comparación no real, basado en los siguientes criterios: Aplicación, propósito y foco de análisis; dando a conocer la posible forma de adaptarlas al sector si se llegara a ampliar su aplicación en la construcción.

Tabla 9

Comparación de SMED entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

SMED	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	Centros de trabajo que poseen tiempos de	En maquinaria utilizada en cada actividad.

	alistamiento de máquina	
	muy altos.	
¿Cuál es su propósito?	Disminuir el tamaño y la cantidad de lotes de artículos entre estaciones de trabajo.	Reducir la gestión de tiempos de alistamiento en la secuencia de las actividades individuales del proyecto como preparar insumos, material, herramientas, maquinaria, estructura de soporte, entre otros.
¿Cuál es el foco de análisis?	El tiempo de alistamiento de máquinas.	La duración que tarda cada actividad en desarrollarse.

Tabla 10

Comparación de A3 entre el Lean Manufacturing y el Lean Construction

A3	Lean Manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	En iniciativas de gestión asociadas al análisis y solución de problemas.	En el proceso de construcción y en el personal.
¿Cuál es su propósito?	Identificar alternativas de solución para los problemas de producción.	Identificar la causa raíz de las falencias, limitar el desarrollo de las actividades sin afectar el producto final y brindar soluciones óptimas.

¿Cuál es el foco de análisis?	Problemas relacionados con el procesamiento de artículos.	Problemas respecto al proceso y al personal.
-------------------------------------	--	--

Tabla 11

Comparación de OEE entre el lean manufacturing y el lean construction

OEE	Lean manufacturing	Lean Construction
¿Dónde es aplicada?	En cada máquina que hacen parte del proceso productivo.	En cada fase del proyecto de construcción y en los recursos como mano de obra, personal y máquinas.
¿Cuál es su propósito?	Monitorear la eficiencia de las máquinas.	Evaluar la efectividad de los recursos.

¿Cuál es el foco de análisis? Eficiencia y productividad de máquinas. La eficiencia y el rendimiento de los recursos como mano de obra y maquinaria.

5.3. Relación entre los procesos misionales y las técnicas lean

Los procesos misionales de una empresa son aquellos que hacen parte de la cadena de producción de bienes y servicios que se utilizan desde que se recibe la materia prima, hasta que se obtiene el producto final. Cada empresa plantea sus procesos misionales dependiendo de sus necesidades. Con base en la investigación, los procesos misionales identificados son:

- Planeación
- Control financiero
- Diseño
- Ejecución de la obra
- Control productivo
- Gestión socio ambiental

En el proceso de planeación en edificaciones, obras civiles u otros, se considera como el primer paso de todo el proyecto, ya que allí se programa las actividades necesarias para llevar a cabo, estableciendo un tiempo y un presupuesto determinado, por otra parte, A3 se utiliza como un método para analizar cualquier imprevisto que se llegue a presentar en el proceso de construcción basándose en el ciclo Deming donde tiene por objeto planificar, hacer, verificar y actuar para crear la mejora continua, también se utiliza KANBAN para programar e informar a los obreros la actividad que deben realizar y los recursos que necesitan para tener un control, evitar la

duplicidad del trabajo y evitar el exceso de material, al mismo tiempo SMED se utiliza desde la gerencia para que en la planificación se reduzcan los tiempos de preparación y cambio de las máquinas como compactadoras, mezcladoras de asfalto, grúas de altura, entre otros, adicionalmente usan VSM en cada fase del proyecto para ver reflejada la gestión de información y materiales y así, poder identificar desperdicios, cuellos de botella y demás factores que afectan todo el proceso.

En el proceso de ejecución se materializa el diseño de dicha edificación u obra civil y se procede al desarrollo de las actividades de la obra en conjunto con los planos y materiales, aquí se aplica 5'S para obtener un ambiente laboral agradable en espacios donde haya material de construcción o herramientas que puedan causar accidentes laborales y que estén obstaculizando el espacio pudiendo ser ocupado para realizar otras actividades, se seleccionan elementos innecesarios estableciendo zonas para ubicarlos y así mantener limpios espacios para crear un ambiente más seguro. De la misma manera en el proceso de selección se aplica en las zonas donde se encuentra material o herramientas que ya no se necesitan colocando tarjetas rojas donde informan que el material que allí se encuentra ya puede ser eliminado. Cuando se realizan actividades como la elaboración de columnas, usan POKA YOKE para hacer estribos y colocarlos en las vigas permitiéndole al trabajador evitar errores que puedan ser de gran peso a futuro, por otra parte, para verificar que las superficies de las estructuras estén en una posición horizontal o vertical perfecta utilizan niveles de burbuja como sistema POKA YOKE para asegurar que no se presente un desfase que pueda crear problemas futuros, de igual forma, toda obra tiene señalizaciones que las utilizan como un POKA YOKE para prevenir accidentes y el uso inadecuado de los implementos, también, al encontrarse herramientas como por ejemplo llaves inglesas en el suelo, diseñan un POKA YOKE demarcando la medida de cada llave y

organizándola de mayor a menor para facilitar al operario la adquisición de la herramienta sin crear demoras en la elección. Así mismo utilizan A3 para resolver problemas y tomar decisiones respecto a la identificación de actividades que no generen valor durante la ejecución del proyecto. Por último, al finalizar la jornada laboral utilizan KANBAN para chequear si hace falta alguna herramienta, ya que cuando un obrero toma una herramienta está obligado a dejar una tarjeta que especifique la información de la herramienta y la información de la persona que la toma.

El proceso de gestión de materiales hace referencia a las actividades que se requieren para asegurar la cantidad de material disponible, la técnica 5'S se aplica en el área de almacenamiento de material como ladrillos, cemento y demás para que a la hora de la adquisición de un elemento sea más fácil ubicarlo sin presenciar demoras.

En el proceso de diseño se realiza el diseño esquemático y se analiza su factibilidad, allí se hace uso de técnicas como A3, el cual se usa para tomar decisiones respecto a la gestión de acopio de material donde se busquen soluciones para optimizar los residuos de material de construcción, también se usa para analizar la factibilidad de variedad de opciones de diseño y elegir la más apta.

En el proceso de control se verifica la eficacia de las máquinas como la amoladora, el camión hormigonera, la grúa de altura, etc, se aplica OOE en cada una de ellas para calcular la eficiencia a la que están trabajando las máquinas.

5.4. Técnicas no aplicadas actualmente en el sector construcción

El sistema Lean posee una variedad de técnicas que hacen posible conseguir un mejoramiento en las empresas u organizaciones de los distintos sectores, la aplicación de estas requiere de un diagnóstico que permita realizar un plan de acción para conseguir el objetivo.

Dentro de las técnicas desarrolladas en la filosofía lean manufacturing se encontró una variedad de herramientas adaptadas a las distintas etapas de un proceso industrial. El presente análisis muestra la extensión de herramientas lean manufacturing al sector de la construcción con el fin de identificar cuáles técnicas no se consideran siempre dentro de los procesos de transformación del sector y evaluar su posible adaptación y viabilidad, así como posibles beneficios que podría traer al desarrollo de proyectos de obra.

La base de datos SCOPUS, así como la investigación de literatura gris, videos, tesis de grado, entre otros (Apéndice E), mencionan múltiples aplicaciones y adaptaciones de las técnicas a lo largo del ciclo de vida o de manera progresiva en los proyectos de obra, en distintos países como Noruega, India, China, Reino Unido, Alemania, donde la implementación de las herramientas, en su mayoría, se dio de forma exitosa mostrando grandes beneficios y avances para el sector, por lo que, vale la pena mencionar, que la adaptación de técnicas del Lean tradicional, se dio correctamente atendiendo a las necesidades de la construcción disminuyendo riesgos, desperdicios, costos de material y sobreproducción y extra tiempos en las entregas del proyecto.

Por otro lado, en las técnicas que no son aplicadas o no se contemplan dentro del lean construcción en la actualidad, se encuentran técnicas que hasta el momento no muestran información documental relevante que plasme una relación entre la filosofía implementada en el sector de construcción; estas son: las técnicas operativas JIDOKA, MAQ y El diagrama YAMAZUMI.

Diagrama YAMAZUMI: Herramienta Lean que consiste en un gráfico de barras que muestran en balance de cargas de trabajo de cada operario en cada puesto de trabajo y su comparación con el takt-time. Esta herramienta orienta sus beneficios al equilibrio entre la producción y la demanda, mitigando la sobreproducción y un inventario en proceso controlado,

por lo que, la implementación al sector de la construcción no es factible dado que el diagrama mostrara información que permita establecer la cantidad de operarios respecto a la cantidad de piezas producidas, la secuencia y simultaneidad de las actividades asignadas a un operario. En la industria de la construcción el interés no es la optimización de operarios ni el talento humano, así como no se interesa por la producción de piezas, el interés del sector de la construcción es el destino, calidad y uso controlado de las piezas y la materia prima elegida para la ejecución del proyecto de obra.

La técnica operativa JIDOKA por lo general se aplica en procesos en línea o con flujo de producción, dificultando la implementación en los procesos misionales del sector construcción.

Y, por último, la técnica MAQ va de la mano con JIDOKA y consiste en un indicador que visibiliza en dónde y la cantidad de veces en que se repite un defecto en determinado proceso, midiendo la efectividad en tiempo real de la aplicación de planes de acción introducidos allí. Con lo anterior se infiere que la adaptación de MAQ en el sector construcción no es aplicable debido a que al ser una herramienta de soporte para JIDOKA se aplica en procesos de flujo de producción y este sector emplea secuencias operativas individuales.

El objetivo de estas filosofías es que la empresa funcione a toda velocidad, por lo que, el tiempo de ejecución es controlado y se analiza desde el planteamiento, ya que, usar una técnica que agilice el tiempo entre actividades no es factible en el sector dado la complejidad e importancia de acciones correctas en las fases establecidas, entendiendo que el tiempo empleado en el proceso se considera desde que se diseña el producto hasta que se entrega al cliente.

6. Análisis del Impacto de la Aplicación de las Herramientas Lean en el Sector Construcción

6.1. Análisis del impacto

En la etapa de análisis de impacto, se consideran casos de estudios, artículos, documentales, literatura gris, bases de datos, documentos, videos documentales, conferencias, durante dos meses (Apéndice F), anexo que recopila el análisis de la información y como producto final una matriz de relación que contiene 63 casos, con una leve explicación detallada del impacto en la etapa del proyecto junto con el vínculo de acceso al respectivo documento. A lo largo del contenido informativo se enumeran principios del Lean tradicional extendidos en la construcción y como esta adaptación partiendo del sector de la manufactura a un sector tan distinto como la construcción impactó de forma positiva los métodos empleados para el desarrollo de las actividades del proyecto de obra, en la planificación, diseño, construcción y operación, así como en el mantenimiento de los resultados del proyecto final. Se entiende que a este punto de la investigación se reconoce el concepto lean manufacturing, lean construction y su relación, varios estudios informan que, la adopción de los principios del lean manufacturing da como resultado un proceso eficiente y de variabilidad reducida dentro del campo de la construcción, siendo el sector construcción una industria que se ve obstaculizada por el desperdicio de recursos como material, tiempo, mano de obra, entre otros. De ahí la importancia de adoptar en la implementación de lean construction prácticas que abarcan cultura, planes, herramientas y conceptos para maximizar el valor y al mismo tiempo minimizar todas las formas de desperdicio (Oguntonar et al., 2018).

Los trabajadores de la construcción deben ser entrenados en todos los conceptos que se desprenden del lean construction. Para obtener los beneficios de la construcción Lean, las empresas

de construcción deben integrar, empoderar y permitir formación para todo el talento humano que hace parte del proceso de construcción, ya sea dentro o fuera del sitio de ejecución del proyecto de obra (Fritz Benachio et al., 2021).

En los casos en estudio y reflejados en una matriz de relación (Apéndice F), se analiza como en algunas industrias de la construcción para la empresa o la entidad involucrada en la implementación del sistema Lean, da primordial interés al enfoque centrado en el estudio de la introducción de conceptos, principios, tecnologías y métodos de lean construction, como una estrategia efectiva para la ejecución de muchos proyectos de construcción como carreteras, puentes, rascacielos, múltiples casas similares, que implican tareas que son repetitivas por naturaleza y requieren recursos para viajar de una unidad a otra para realizar el mismo trabajo. Mientras otros discuten la aplicación de lean construction, el desarrollo sostenible y la cadena de suministro, se encuentran enfoques en la implementación del modelo como estrategia para eliminar actividades que no agregan valor impactando en la cadena de suministro y en la gestión de la seguridad (Carvajal-Arango et al., 2019). Dado que esta industria es responsable del gran porcentaje de residuos generados diariamente, así como la gran cantidad de extracción de recursos naturales.

A lo largo de la investigación, se encuentran diversas interacciones entre las propias técnicas del lean construction y su impacto positivo en la estructura de diseño del proyecto, en esta etapa, los profesionales e investigadores consideran todas las variables que van a interferir durante la ejecución del proyecto de obra civil, por lo que, es imprescindible el estudio de distintas estrategias ajustables al modelo de la construcción (Apéndice F).

- Impacto en las etapas del ciclo de vida del proyecto

A continuación, se enuncian los impactos del lean construction en las actividades de sus fases primordiales: Diseño del proyecto, construcción, operación y fin de vida del proyecto. Se hace la comparación, se muestra la evidencia y el resultado de la implementación del sistema Lean adoptado por distintas culturas a lo largo del mundo, con el objetivo de optimizar sus recursos, mejorar la seguridad del personal en el sitio, disminuir los problemas ambientales asociados a la construcción y el cumplir las metas y objetivos individuales evitando sobrecostos o sobretiempos.

6.1.1 Diseño y planificación del proyecto

En el caso de las interacciones del sistema lean construcción o construcción ajustada y otras prácticas, se mencionan los principios de lean construction desarrollados por Koskela (1992) donde la importancia de la planificación anticipada predomina sobre las demás etapas. Propone dentro de sus principios el uso de técnicas nacidas del pensamiento lean manufacturing en el ciclo de vida para encontrar los beneficios de reutilizar diferentes tipos de materiales en la etapa de diseño, así como aprovechar los datos existentes referentes a los materiales en la etapa del diseño, en el caso de organizaciones basadas en proyectos también estudian Koskela (1992, 2000) (Fritz Benachio et al., 2021) en el análisis de la implementación de técnicas orientadas a la mejora continua desde la primera etapa del proyecto, se consideró la estrategia lean construction dentro de la planificación como un recurso para resolver inconvenientes de carácter técnico en el campo abierto, su uso en la entrega integrada de proyectos y la toma de decisiones estratégicas y organizacionales. A este trabajo se suma la trayectoria de la investigación centrada en el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones para ayudar a la planificación anticipada dentro de análisis de factibilidad para proyectos civiles (Saad et al., 2021). En Noruega la metodología lean construction llega en 2002 por medio de Veidekke, el contratista más grande del país, fue quien introdujo no sólo en el

sistema económico y financiero del país el pensamiento lean construction sino que completo los niveles directivos de la industria de la construcción Noruega, capacitando en el ámbito civil, ambiental y en programas de Ingeniería que reconocen el lean construction desde entonces en sus cursos como "Producción basada en proyectos", "Gestión de diseño de edificios", "Gestión de la producción en proyectos de construcción y construcción" (Lohne et al., 2021).

El uso de A3 ha comenzado en la industria de la construcción, para dirigir un proceso en la toma de decisiones, es una técnica que proporciona una descripción concisa de opciones y compensaciones asociadas con un problema o decisión referente al plan de acción para el desarrollo del proyecto (Koskela et al., 2020). En la industria de la construcción en la etapa de diagnóstico y factibilidad del proyecto se introducen conceptos como el “prefabricado” y se examina los procesos que causan la generación de residuos. Este resumen también analiza la implementación del concepto lean construction en proyectos como puentes y la influencia de este concepto en la minimización de residuos en los procesos de construcción (Sebastian, 2019).

Por otra parte, la optimización multiobjetivo en la planificación estratégica del ciclo de vida de un proyecto brinda capacidades exploratorias del lean construction que, aunque no son permanentes, tiene la capacidad de mejorar continuamente (Saad et al., 2021). El impacto de las técnicas Lean se produce en las dos primeras fases de los proyectos agregando actividades que agregan valor y eliminan desperdicios durante la ejecución de la obra en países como Egipto (Shaqour, 2022).

6.1.2 Construcción del proyecto

Continuando con el análisis del impacto positivo o las reacciones de la implementación lean manufacturing a lo largo de su estructura planificada para la etapa de fabricación, construcción

o ejecución, (Carvajal-Arango et al., 2019) analiza el ciclo de vida útil para diferentes tipos de construcción y lo que esta requiere como foco central de acuerdo con la necesidad por satisfacer. En proyectos de construcción como carreteras diferentes a la construcción de edificios, en términos de sus productos, las herramientas lean construction impactan en la participación del personal, los tipos de trabajo, operaciones, y los recursos utilizados de la obra.

En las prácticas de la fase de construcción del proyecto, los profesionales se inquietan por la condición de sostenibilidad asociada a los sistemas de producción y consumo, por la idea de un sistema que responde a las demandas sociales de productos y servicios sin perturbar los ciclos naturales. La construcción ajustada es famosa por eliminar actividades sin valor agregado y esforzarse por aumentar la entrega de valor durante el proceso de construcción, por sus características relevantes que intervienen en la decisión de china continental a principios del año 2000 de adaptar un modelo en un sector tan amplio como lo es el de la construcción en este país (Li et al., 2020).

La construcción ajustada agrega un impacto positivo, especialmente en la calidad, la seguridad, el costo, la productividad y el nivel ambiental (Ahmed et al., 2020). se encontró que desde la perspectiva social, la introducción de técnicas como el mapeo de flujo de valor, 5'S y Kaizen, brindan un cambio significativo en el bienestar de los involucradas, mejorando la gestión de la seguridad y ofreciéndoles ambientes agradables (Carvajal-Arango et al., 2019), el Sistema Last Planner en el proyecto dio como resultado una mejor comunicación y coordinación entre las autoridades superiores que el método tradicional de construcción y también permitió resolver las limitaciones que causan retrasos; por lo tanto impacta en la fase de construcción, ya que, reduce sobrecostos y extra horas gracias al manejo de las herramientas digitales del Lean (Innella et al., 2019), en otro ejemplo, se encuentra que herramientas como justo a tiempo y 5'S son más

compatibles con la gestión de materiales en la construcción (Aslam et al., 2020). Técnicas que agregan un impacto positivo, especialmente en la calidad, la seguridad, el costo, la productividad y el nivel ambiental (Ahmed et al., 2021).

A este punto de la construcción del proyecto, la implementación de técnicas Lean como VSM, justo a tiempo, 5'S y A3 permiten un flujo mejor de comunicación entre el grupo de trabajo en la etapa de construcción dando una continuidad productiva, eficaz y con menor incertidumbre al ciclo de vida del proyecto de obra (Innella et al., 2019).

6.1.3 Operación o ejecución del proyecto

La industria de la construcción genera altos impactos ambientales, consumiendo el 50% de las materias primas, el 40% de la energía y produciendo el 50% de los residuos. La construcción sostenible se refiere a la respuesta del sector de la construcción al desafío del desarrollo sostenible. Está asociado a procesos y prácticas amigables con el medio ambiente que apuntan a aumentar la eficiencia y disminuir la acumulación de desechos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (Aristizábal-Monsalve et al., 2022).

Para el caso de la operación, el análisis del impacto en esta investigación se muestra el valor de técnicas y el uso de herramientas digitales para evaluar el estado de los materiales durante la vida útil y el final de vida de un edificio y a su vez minimizar el mantenimiento recuperativo con el mantenimiento preventivo (Fritz Benachio et al., 2021).

Highways England también brinda apoyo para implementar Lean y entregar edificaciones de calidad y eficientes, espera que estas medidas incentiven a su cadena de suministro a entregar continuamente más valor con los mismos o menos recursos integrando la metodología estudiada por Koskela (1992) en principios para la fabricación como: Cambio de uso de materiales, dándole

la propiedad a los fabricantes para reutilizar los materiales después del final de la vida útil del primer edificio, reutilización de materiales secundarios en la etapa de producción y manejo de materiales para reutilizar en una futura obra. (Fritz Benachio et al., 2021).

En esta etapa, las técnicas de la filosofía Lean se amplían para predecir los efectos en cadena de las desviaciones para predecir interrupciones futuras (Soman & Molina, 2022).

La implementación de herramientas en la etapa de operación trajo como resultado lograr tiempos y costos de construcción reducidos, mayor productividad, mejor calidad y mayor valor para el cliente, también, disminuyó el consumo de recursos materiales, agua y energía; la emisión de material particulado, ruido y residuos y mejoró las condiciones de trabajo, las relaciones interpersonales y la comunicación (Fritz Benachio et al., 2021).

6.1.4 Fin de vida del proyecto

En la etapa final donde se verifica el cumplimiento de los objetivos del proyecto hay un valor real en identificar, compartir e implementar las mejores prácticas y procedimientos lean construction rentables de varias prácticas y procesos de control de calidad (Uddin, 2020) que permiten analizar el potencial de reutilización o reciclaje de los materiales existentes y si es factible en comparación con el uso de nuevos materiales (Fritz Benachio et al., 2021).

Las herramientas individuales de gestión de la calidad y construcción sin pérdidas se pueden utilizar en la construcción y su uso trae beneficios significativos y visibles.

Los autores presentan su trabajo como un ejemplo de la correcta implementación en sus procesos de edificación donde los problemas más frecuentes se encuentran en el manejo de recursos y desperdicios en la operación y que solo la implementación de herramientas de gestión de la calidad mitiga los retrasos y sobrecostos (Nowotarski et al., 2019).

En Chennai (India) el uso de mapeo de flujo de valor es una clave para inclinarse por el lean construction como herramienta para cuantificar la cantidad de residuos generados. Se identificó una tasa de generación de residuos de 66,26 kg/m², de los cuales, los residuos de hormigón, mortero de cemento y ladrillo representaron casi el 90% del total de desperdicios en la construcción. Se realizaron observaciones directas y entrevistas al personal del sitio para comprender las causas de la generación de desechos en la operación (Vilventhan et al., 2019).

El desarrollo tecnológico de la construcción industrializada (IC) integra modelos digitales o técnicas como el BIM para la prefabricación de sus estructuras y desarrollar un modelo de simulación para la línea de producción de módulos que permita a los usuarios seleccionar la secuencia casi óptima de producción de módulos. Desde la perspectiva del mantenimiento de edificaciones o proyectos de obra, impacta en la tasa de utilización y distribución de recursos, ya que se calcula automáticamente (Ezzeddine & García de Soto, 2021).

El mayor impacto de un edificio ocurre durante su etapa de uso y ocupación, la mayoría de los sistemas de calificación lean construction se especializan en medir el nivel de sustentabilidad durante la etapa de operación del edificio y en la implementación de estrategias en las primeras etapas de conceptualización y diseño, orientadas a la reducción y eficiencia del consumo de recursos durante el uso de estos (Aristizábal-Monsalve et al., 2022).

Con el fin de mostrar de forma visual (Figura 11) los reales impactos en la construcción, se representa las 4 etapas primordiales identificadas en la investigación: diseño y planificación del proyecto, construcción, operación y mantenimiento del proyecto final, donde el uso de técnicas ayudaron en la toma de decisiones decisivas en cada fase, con el fin de mejorar el flujo de comunicación entre operarios, reducir costos de materias primas y de producción, riesgos de

operación en el sitio, construcciones sostenibles y agradables con el medio ambiente, eficaces, eficientes y más productivas.

Figura 11

Resumen del impacto de la implementación de técnicas en el ciclo de vida



El impacto en las empresas que deciden inclinarse por la construcción esbelta se refleja en el continuo avance del término lean construction que a lo largo del mundo toma cada vez más fuerza dentro de las empresas destinadas al diseño y gestión de calidad en obras, supervisión y manteniendo industrial, compañías que dentro de sus procesos estudian la implementación o implementaron herramientas de lean manufacturing obteniendo las ventajas o desventajas analizadas en el presente documento y relacionadas a continuación.

6.2. Ventajas y barreras de la implementación.

6.2.1. Ventajas

A lo largo del análisis de los distintos casos estudiados, se reconocen beneficios claros en la adaptación de técnicas lean manufacturing en el sector construcción y cómo estas dieron al desarrollo de proyectos ventajas frente a la ejecución de proyectos anteriores. Entre esas ventajas se encuentran:

- La ventaja competitiva: Motiva a las empresas constructoras a mejorar su desempeño mediante la implementación de lean construction, filosofía que fortalece su estructura, empodera la imagen de la empresa y aumenta las expectativas hacia la adjudicación de más contratos (Aslam et al., 2020).
- Ventaja en el desarrollo: Las prácticas Lean son importantes en el desarrollo de proyectos porque su implementación permite reducir los tiempos de construcción y costos, logrando una mayor productividad, mejor calidad y mayor valor para el cliente; reduciendo el consumo de recursos materiales, agua y energía, reduciendo la emisión de partículas, ruido y residuos y mejorar las condiciones de trabajo en el sitio de ejecución (Cruzado-Ramos & Brioso, 2020).
- Ventajas en áreas de la cadena de valor: Es posible aumentar la construcción productiva del proceso. Building Information Modeling, se creó con el fin de compartir en tiempo real información relevante para tomar decisiones colectivamente y mejorar la gestión del proyecto en pro al beneficio de todos (Gómez-Sánchez et al., 2019).
- Ventaja en la eliminación de residuos: Dentro de los proyectos de construcción se hace uso de técnicas lean manufacturing para lograr que una construcción sea más sostenible y facilitará la preservación no solo del material natural sino también del esfuerzo

requerido para acometer la obra. Por lo tanto, tiene un gran impacto positivo en la disminución de los problemas ambientales asociados con la industria de la construcción. Las empresas inactivas que nunca quieren cambiar pueden encontrar oportunidades alternativas para lograr la excelencia y obtener una ventaja competitiva sobre los principios Lean que se han aplicado ampliamente para mejorar la productividad y la eficiencia de las operaciones de construcción (Goh & Goh, 2019).

- Ventajas en la disminución del riesgo: La implementación de la metodología Lean en la construcción disminuye la incertidumbre en cuanto a los riesgos potenciales o detalles que pueden mejorar el nivel de la conciencia de las condiciones del área laboral y, en consecuencia, las condiciones de seguridad (Rossini et al., 2017).

6.2.2. Barreras

A lo largo de la investigación se reconocen principalmente barreras en la introducción del sistema lean en la construcción, estas han impedido el éxito del desarrollo del proyecto y que, por el contrario, la reducción de desperdicios y optimización de recursos trajo contra tiempos, repetición de actividades, conflicto en el lugar de trabajo e impactos negativos en el medio ambiente.

- Falta de cultura Lean en la organización: En distintos proyectos se identifica la falta de comunicación, compromiso de gestión, conocimiento, liderazgo, falta de conciencia y habilidad, mala gestión, cultura tradicional y actitud de los empleados, recursos y equipos inadecuados y no uso de técnicas y tecnologías modernas. Los desafíos se asociaron principalmente con aspectos de comportamiento de participantes, a saber, la resistencia al cambio y los compromisos del sistema de participación (Kassab et al., 2020).

- Falta de coordinación y entrada inadecuada de información: Programar el proceso de diseño sin detalles suficientemente acordados, genera confusión sobre el estado del proceso de diseño. Los diseñadores prefieren principalmente terminar un modelo antes de analizar sus partes de forma individual e implementar técnicas a cada etapa por separado (Uusitalo et al., 2020).
- Determinar y desencadenar el diseño, la planificación y la construcción de obras: La implementación de los principios de lean manufacturing se mostró desafiante en particular, en las cadenas de suministro de la construcción en donde los procesos de fabricación a menudo están desconectados de la instalación en el sitio, lo que imposibilita el alcance de los objetivos desde un punto de vista económico, ecológico y socialmente sostenible (Braglia et al., 2020).

7. Resultados

7.1. Artículo publicable

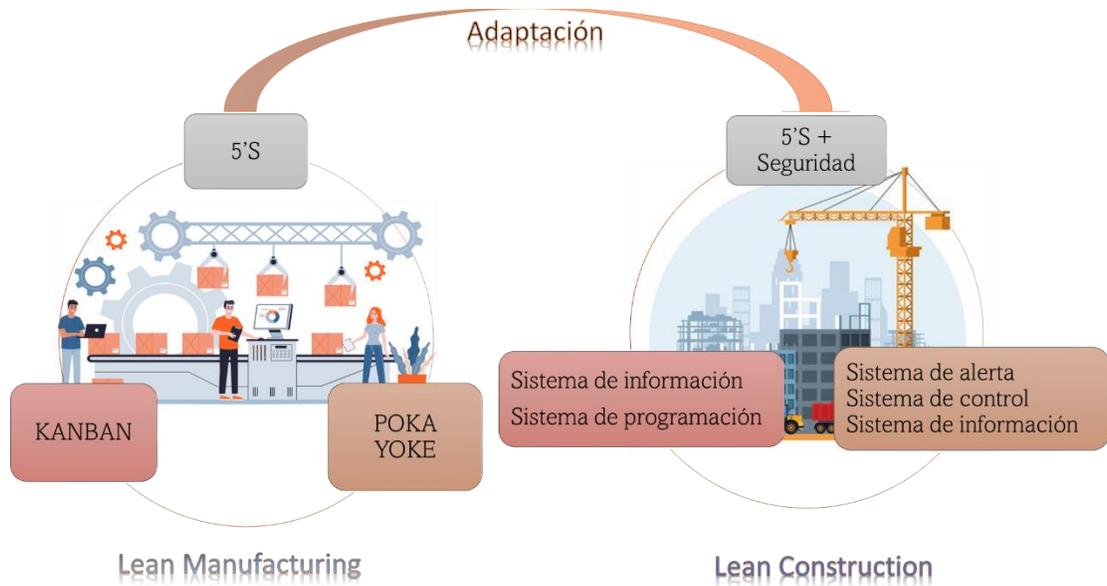
El artículo se encuentra en el apéndice A.

7.2. Elaboración de un esquema gráfico de la adaptación de las técnicas operativas lean en el sector construcción

Con base en la aplicación de las técnicas operativas del lean manufacturing en el sector de la construcción se planteó el siguiente esquema:

Figura 12

Esquema ajustado al sector de la construcción



En la figura 12 se puede observar un esquema elaborado con base en la información obtenida de toda la investigación, donde se encuentra la forma en la que se adaptaron 3 de las técnicas operativas en el sector construcción, comenzando por 5'S el cuál, se adaptó aplicándola como lo establece su metodología, pero, incorporan la seguridad de forma independiente permitiendo llevar un control acerca de los protocolos que establece la ley en cuanto a seguridad, KANBAN, aplicándola como un sistema de programación e información y por último, POKA YOKE, introduciéndolo como un sistema de alerta, control e información.

7.3. Análisis de los cambios

Actualmente, variedad de empresas del sector construcción desconocen la filosofía lean manufacturing a pesar de ser una metodología que se implementó hace algunas décadas, sin embargo, también se encuentran otras que no sólo conocen el concepto, sino que también aplican las técnicas de acuerdo a sus necesidades con el objetivo de conseguir la mejora continua, aumentar el valor al cliente, reducir despilfarros, reducir costos y maximizar la productividad y rentabilidad, es por esto que muchas empresas optan integrar esta filosofía Lean a sus procesos misionales, pero no sólo basta con aplicar las técnicas, sino hay que saberlas aplicar, ya que, si no se introducen de forma en que se conectan a sus necesidades los resultados pueden ser todo lo contrario a lo esperado, así mismo para lograr buenos resultados es importante que exista una buena comunicación y coordinación en la estructura organizacional de la empresa, ya que al practicar la comunicación, todo el personal está más comprometido con el alcance de los objetivos estratégicos de la empresa, por lo contrario, si eso no ocurre, puede desequilibrarse la organización y los resultados pueden causar un impacto negativo en la empresa, por otra parte, a la hora de implementar estas técnicas se debe tener en cuenta la posibilidad de que la organización tenga conceptos errados respecto a esta filosofía, para que a través de una capacitación puedan desarrollar esos conocimientos y destrezas.

En diferentes estudios y fuentes de información se encontró variedad de documentos que hablaban acerca de técnicas como Kanban, 5'S, Poka Yoke, VSM, entre otras, aplicadas al sector construcción, dando a conocer el impacto y la cantidad de beneficios que estas traen en su implementación. Estas técnicas se ajustan al sector construcción dependiendo del criterio o las necesidades de cada empresa, puesto que la adaptación de cada una de ellas en los procesos misionales varía de acuerdo con el sector, por ejemplo, las 5'S las ajustaron a 6'S añadiendo como

sexta S la seguridad, dado que, cuando se tiene un ambiente limpio y ordenado proporciona un entorno agradable y seguro, ofreciéndole al trabajador zonas más despejadas y con menos riesgos de accidentes, sobre todo en actividades de alto riesgo, como las que se llevan a cabo en el sector construcción. Otra técnica como Poka Yoke que se distingue por ser un sistema a prueba de errores en el sector manufacturero, distintas empresas del sector construcción la adapta no sólo como un sistema a prueba de errores, sino también, como un sistema de control, con el fin de evitar el desperdicio en la realización de elementos estructurales necesarios para la construcción, también lo utilizan como un sistema de alerta de fallas, escudando zonas de alto riesgo a través de dispositivos audibles o visuales, además lo introducen como un sistema de información permitiéndole a los trabajadores visualizar a través de letreros en las obras información actualizada respecto a los peligros a los que pueden estar expuestos de acuerdo al avance del proyecto. Otro ejemplo es Kanban, el cuál es una técnica que actúa como un sistema de información, pero en el sector construcción también lo adaptan como un sistema programación, ya que, permite informarles a los trabajadores la actividad que cada uno debe realizar para evitar la duplicidad del trabajo y así mismo informarles qué materiales necesitan y en qué cantidad para llevar a cabo un control de material y de herramientas de trabajo para evitar desperdicios. Y así se pueden encontrar diferentes formas en como el sector construcción adapta cada una de las técnicas a los procesos misionales.

La adaptación de las técnicas Lean en la construcción no sólo depende desde el proceso de planificación de la empresa, también de la disposición, motivación y compromiso que el personal tenga para acoplar nuevas formas de trabajo a su rutina, sin que este disminuya su rendimiento, por otra parte, la implementación de las técnicas lean manufacturing crea ventajas competitivas

entre empresas de cualquier sector ya que estas trae beneficios para aquellas empresas que las sepan implementar en sus procesos misionales.

En dicha investigación solamente se analizaron técnicas operativas como SMED, KANBAN, 5'S, JIDOKA, POKA YOKE, MAQ y de registro como A3, VSM, YAMAZUMI y OEE, pero en diferentes estudios se demostró que la aplicación de técnicas como LPS, HEIJUNKA, BIM, ANDON entre otras, también ha traído excelentes resultados en las empresas a corto plazo.

Hay técnicas que son muy difíciles de aplicar en los procesos misionales como por ejemplo JIDOKA siendo una técnica basada en la automatización con un toque humano, MAQ considerada como un indicador que mide la frecuencia de los defectos en un proceso y se usa como soporte para JIDOKA y YAMAZUMI que es una representación gráfica que representa los procesos que trabajan con un tiempo mayor al tack time y en el sector construcción no se aplica el concepto de tack time.

Estas técnicas fueron las únicas en toda la investigación de las que no se encontró aplicación en el sector construcción debido a que se emplean más que todo a procesos industriales que tengan un flujo de producción.

Finalmente, la aplicación del lean construction ha demostrado mejorar la satisfacción de los clientes, la calidad, la productividad, mejora los procesos, mejorar la variabilidad del flujo de trabajo, la seguridad, reducir tiempos de entrega de proyectos y costos, mejorar la gestión de riesgo, disminuir el número de accidentes y mejorar el control y todo ello hace a esta filosofía mucho más atractiva para la adaptación en diferentes empresas.

8. Conclusiones

1. En la investigación se pudo observar que las técnicas operativas son esenciales para aquellas empresas que apliquen el Lean en sus procesos misionales en el sector construcción, ya que, la unión de todas estas permite aumentar valor a los proyectos llegando a crear ventajas competitivas, originar un sistema estructurado, de apoyo a la toma de decisiones estratégicas y organizacionales, útil y con flujo de comunicación para alcanzar la excelencia operativa.
2. La aplicación de las técnicas ha traído muchos beneficios para las empresas que las implementan, pues son herramientas que logran mejorar toda su cadena de valor, consiguiendo un alto rendimiento, productividad, reduciendo costos, tiempos y lo más importante de todo, le agrega valor al cliente en corto tiempo.
3. Se observó que en el sector construcción en todas las técnicas predomina el concepto de seguridad imponiéndose como un factor importante de estudio, ya que, los procesos de construcción conllevan altos riesgos laborales.
4. Se identificaron técnicas como JIDOKA, MAQ y YAMAZUMI que no se han implementado en el sector debido a que conceptualmente es difícil encontrar aplicación en el sector, ya que, se adaptan más que todo a procesos que tengan flujo de producción.
5. La clave principal para adaptar de forma correcta la metodología Lean en la construcción es realizar una encuesta al personal acerca de los conocimientos que tienen sobre la manufactura ágil

y su aplicación en el sector construcción, esto, con el fin de tener más idea de cómo se debería implementar y así, toda la estructura organizacional puedan tener los conocimientos necesarios para su adaptación sin que se presenten grandes problemas y de esta manera, todos puedan estar alineados con los objetivos estratégicos del proyecto alcanzando grandes resultados, cabe resaltar que para adaptar las técnicas de forma exitosa debe existir un alto compromiso y motivación por parte de todo el personal para que estos puedan adherirlas más fácilmente a sus procesos.

6. La implementación de las técnicas no requiere de un tiempo en específico, ya que, dependen de la forma en como el trabajador las va adaptando a sus actividades laborales.

7. De la investigación no se encontraron muchos cambios en la implementación de las técnicas Lean de un sector respecto al otro, lo que se pudo observar es que cada una de ellas se adapta según sus necesidades, ya sea en función del mercado, de los objetivos estratégicos, del personal, de las características o de la experiencia.

8. El impacto de la implementación de técnicas extendidas del sector de la manufactura a la construcción se resume en la integración progresiva de técnicas a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La adaptación del modelo tradicional en la construcción brinda sistemas que facilitan la toma de decisiones, anticipan riesgos posibles en la operación, identifican actividades que no agregan valor y manejo de desperdicios en la etapa de diseño. En la fase de construcción crea la cultura de participación del personal, disminución del tiempo de inactividad en la ejecución, se identifican y corrigen rápidamente los errores y se incentiva lugares de trabajo limpios y ordenados. En la operación, Impacta en la calidad, seguridad, el costo y la productividad a nivel ambiental, mitiga retrasos y sobrecostos en fabricación y le da a los encargados del proyecto un riguroso seguimiento del estado del proceso actualizado, Finalmente en la etapa de manteniendo del proyecto se analiza el potencial de reutilización o reciclaje de los materiales existentes, las

obras finales son más sustentables, de mayor calidad y eficiencia y la recopilación de información para futuros proyectos son características de las técnicas empleadas en la etapa final del proyecto.

9. Recomendaciones

1. Para investigaciones futuras es recomendable hacer énfasis en aquellas técnicas de las cuáles no hay suficiente documentación para un estudio exploratorio, esto, con el fin de identificar cuáles serían los beneficios y el impacto que estas podrían generar en los procesos misionales del sector construcción y si es factible implementarlas en los proyectos.

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, S., Hossain, M., & Haq, I. (2021). Implementation of lean construction in the construction industry in Bangladesh: awareness, benefits and challenges. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39, 368–406. <https://www-emerald-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/insight/content/doi/10.1108/IJBPA-04-2019-0037/full/html>
- Amaya, M. (2019, July 3). *Seis consejos para lograr sentido de pertenencia*. FORBES MÉXICO. <https://www.forbes.com.mx/seis-consejos-para-lograr-sentido-de-pertenencia/>
- Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero Botero, L. F. (2022). Perceptions on the processes of sustainable rating systems and their combined application with Lean construction. *Journal of Building Engineering*, 46, 1–17. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S2352710221014856?via%3Dihub>
- Ariyanti, S., Rifa'i Azhar, M., & Sobron Yamin Lubis, M. (2020). Assembly line balancing with the yamazumi method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012078>
- Aslam, M., Gao, Z., & Smith, G. (2020). Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction. *Journal of Cleaner Production*, 277, 1–14. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S0959652620333400?via%3Dihub>
- Asturias Corporación Universitaria. (n.d.). *Definición y Principios del Lean Management*. Retrieved September 26, 2021, from https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/dgp_gestion_calidad/clase6_pdf1.pdf

- Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2020). Identifying and Managing Critical Waste Factors for Lean Construction Projects. *EMJ - Engineering Management Journal*, 32(1), 2–13. https://www.researchgate.net/publication/335960006_Identifying_and_Managing_Critical_Waste_Factors_for_Lean_Construction_Projects
- Bajjou, M. S., Chafi, A., & Ennadi, A. (2017). The potential effectiveness of lean construction tools in promoting safety on construction sites. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 33, 179–193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.33.179>
- Bajjou, M. S., Chafi, A., Ennadi, A., & el Hammoumi, M. (2017). The practical relationships between lean construction tools and sustainable development: A literature review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 10(4), 170–177. <http://www.jestr.org/downloads/Volume10Issue4/fulltext201042017.pdf>
- bin Anang, M. R., & Hafifi Bin Tajry, M. (2020). Assessment of Piling Machine Operation Performance Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) During Piling Construction at Universiti Teknikal Malaysia Melaka. In Zakaria Muhammad, A. Majeed, & M. Hassan (Eds.), *Advances in Mechatronics, Manufacturing, and Mechanical Engineering* (pp. 172–182). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-7309-5_18
- Botero, L., & Álvarez, M. (2004). GUÍA DE MEJORAMIENTO CONTINUO PARA LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDA (LEAN CONSTRUCTION COMO ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO). *REVISTA UNIVERSIDAD EAFIT*, 40(136), 50–64. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/864/770/2594>
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1322–1337. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S0959652619317500?via%3Dihub>

- Chiera, M., Lupi, F., Rossi, A., & Lanzetta, M. (2021). Lean Maturity Assessment in ETO Scenario. *Applied Sciences*, 11(3833). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11093833>
- Chung, A., & Mutis, I. (2020). Quality Assurance and Quality Control of High-Rise Enclosure Design Using Lean Principles. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(1). https://www.researchgate.net/publication/338971769_Quality_Assurance_and_Quality_Control_of_High-Rise_Enclosure_Design_Using_Lean_Principles
- CONEXIÓN ESAN. (2015, August 4). *Toyota y el éxito del método Kanban*. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2015/08/toyota-exito-metodo-kanban/>
- CONSTRUCIA. (2018, April 30). *¿Qué es Lean Construction?* <https://www.construcia.com/noticias/que-es-lean-construction/>
- Corahua, W., & Lozano, J. (2017). *APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES: COLUMNAS, PLACAS, VIGAS Y LOSAS ALIGERADAS DE LA RESIDENCIAL GOLD SAN FRANCISCO EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2014” (Tesis de pregrado)*. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/1305/Wilber_John_Tesis_bachiller_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Costa de los reyes, C. (2016). *ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE INTRODUCCIÓN DE LA FILOSOFÍA “LEAN CONSTRUCTION” EN LA ETAPA DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE PROYECTOS, EN EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS DE CIUDADES INTERMEDIAS, CASOS: CUENCA Y LOJA (Tesis de maestría)*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26161/1/tesis.pdf.pdf>
- Diaz, D., & Rolón, O. (2020). El Lean Construcción como estrategia de mejora continua en empresas dedicadas a la construcción de infraestructura vial en la ciudad de Cúcuta. *Revista de Ingenierías Interfaces*, 3(1), 45–67. <http://www.unilibrecucuta.edu.co/ojs/index.php/ingenieria/article/download/481/670>

- EAE business School. (2022, January 31). *Los 5 Whys – Análisis de los 5 porqués*. <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/los-5-porques/>
- Ezzeddine, A., & García de Soto, B. (2021). Connecting teams in modular construction projects using game engine technology. *Automation in Construction*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103887>
- Fritz Benachio, G. L., Duarte Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2021). *Interactions between Lean Construction Principles and Circular Economy Practices for the Construction Industry*. 147(7). <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2563/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002082>
- Fuenzalida, C., Fischer, B., Arroyo, P., & Salvatierra, J. (2016). *EVALUATING ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CONSTRUCTION OPERATION BEFORE AND AFTER THE IMPLEMENTATION OF LEAN TOOLS*. 3–12. <https://www.researchgate.net/publication/305626945>
- Gemba Academy. (2017, July 27). Reporte A3 | A3 Thinking. In *Video Youtube*. https://www.youtube.com/watch?v=M_y6kLCSOLs
- Gerardi, J. (2021, June 10). *Construcción ajustada: ¿Qué es, principios clave y si se debe utilizar?* <https://proest.com/es/noticias-de-proest/>
- Germano, A., Fonseca, N., Melo, R., & Moura, A. (2017). VALUE STREAM MAPPING: CASE STUDY IN COLUMNS CONCRETING. *International Group for Lean Construction*, 2, 821–828. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-e2cfcd94-2e9e-4c3c-aa2b-b613feb5b57b.pdf>
- Hanna, S. (2015, June 16). *Top 10: Empresas de fabricación Lean en el mundo*. <http://www.leanproduction.co/noticias-lean-manufacturing/top-10-lean-manufacturing-empresas-de-fabricacion-lean-en-el-mundo.html>
- Hernandez, J. (2021, March 25). *Ejemplo de Poka Yoke en la Construcción*. <https://www.youtube.com/watch?v=WadVvAMnSwc>
- Hernández, J. C., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing: conceptos, técnicas e implementación*. https://issuu.com/renataantunes7/docs/lean_manufacturing

- Innella, F., Arashpour, M., & Bai, Y. (2019). Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(12), 04019076. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001712](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001712)
- Institute Lean Chile. (2020). ¿Qué es el lean? *Lean Institute Chile*. <https://institutolean.cl/lean/>
- International Construction Services Company, T. (n.d.). *Three White Flint North*. International Construction Services Company . Retrieved September 8, 2021, from <https://www.turnerconstruction.com/experience/lean/case-study>
- ISO Sistemas de Gestión. (2020, July 4). VSM, value stream mapping, lean manufacturing, mapa de flujo de valor. In *VIDEO YOUTUBE*. <https://www.youtube.com/watch?v=0oHvGR6Iv8g>
- ITeC. (2021, February 10). *La Jornada Lean Construction Barcelona 2021 ya está aquí*. <https://itec.es/infoitec/lean-es/la-jornada-lean-construction-barcelona-2021-ya-esta-aqui/>
- Kariyawasam, D. T., & Siriwardana, C. S. A. (2021). Feasibility study on, enablers and barriers for the implementation of lean construction and the applicability of visual management practices through forms of digital communication in the Sri Lankan industry. *MERCon 2021 - 7th International Multidisciplinary Moratuwa Engineering Research Conference, Proceedings*, 681–686. <https://doi.org/10.1109/MERCon52712.2021.9525758>
- Koohestani, K., Poshdar, M., & Gonzalez, V. A. (2020). Finding the way to success in implementing lean construction in an unfavourable context. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 373–384. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-5d814cd6-cee7-4e70-8f26-85d3dd268a2f.pdf>
- Koskela, L., Broft, R. D., Pikas, E., & Tezel, A. (2020). Comparing the methods of A3 and canvas. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 13–24. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-f7e62ca7-ecf1-463e-98ef-086077660d40.pdf>
- Kume, H. (2008). *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. (Grupo Editorial Norma, Ed.; 1st ed.).

<https://books.google.com.pe/books?id=x4PnjSZYzMEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Lara, D. (2018, October 5). Lean Manufacturing como método de maximización de valor. *Revista Digital INESEM*. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-empresarial/lean-manufacturing/>

Lean Construction Institute PERÚ. (2017, September 25). *Lean en el Perú César Guzmán Marquina - 3er. CNLC_2017*. <https://www.youtube.com/watch?v=rLnYdiYJhCY>

Li, S., Fan, M., & Wu, X. (2019). Lean construction techniques and individual performance. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, 1469–1477. <https://doi.org/10.24928/2019/0136>

Li, S., Fang, Y., & Wu, X. (2020). A systematic review of lean construction in Mainland China. *Journal of Cleaner Production*, 257.

<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S0959652620306284?via%3Dihub>

Lohne, J., Torp, O., Andersen, B., Aslesen, S., Bygballe, L., Bølviken, T., Drevland, F., Engebø, A., Fosse, R., Holm, H. T., Hunn, L. K., Kalsaas, B. T., Klakegg, O. J., Knotten, V., Kristensen, K. H., Olsson, N. O. E., Rolstadås, A., Skaar, J., Svalestuen, F., ... Laedre, O. (2021). The emergence of lean construction in the Norwegian AEC industry. *Construction Management and Economics*. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1975041>

López, B. (2019, October 29). *¿Qué es el Lean Manufacturing?* INGENIERIA INDUSTRIAL ONLINE. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/que-es-el-lean-manufacturing/>

Luengas, A. (2011). *IMPLEMENTACION Y SEGUIMIENTO DE LA METODOLOGIA LEAN CONSTRUCTION A LAS ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS DE LA OBRA METROPOLITAN BUSINESS PARK EN LA EMPRESA MARVAL S.A (Tesis de pregrado)*. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1270/digital_20434.pdf?sequence=1

Lyon Vial, A. (2018). *APLICACIÓN DEL ENFOQUE LEAN A LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (Tesis de pregrado)*.

- <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168691/Aplicaci%C3%B3n-del-enfoque-LEAN-a-la-direcci%C3%B3n-de-proyectos-en-la-industria-de-la-construcci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
- Martínez, J. (2019, June 5). *El sector del calzado apuesta por el “lean manufacturing.”* FASHION UNITED. <https://fashionunited.es/noticias/retail/el-sector-del-calzado-apuesta-por-el-lean-manufacturing/2019060530386>
- Martínez, V. (2013). *Problemas y Soluciones en la Implementación del Sistema LEAN en una Empresa de un Grupo de Alimentación.* <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3457/pfc5498.pdf;sequence=1>
- Nowotarski, P., Paslawski, J., & Skwarek, J. (2019). Waste Reduction by Lean Construction-Office Building Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042061>
- Oguntonar, O., Mulongo, G., & Aigbavboa, C. (2018). An Assessment of Lean Construction Practices in the Construction Industry. In J. Charytonowicz & C. Falcão (Eds.), *Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure* (Vol. 788). <https://link-springer-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/content/pdf/10.1007/978-3-319-94199-8.pdf>
- Pons, J., & Fundación Laboral de la Construcción. (2014). *Introducción a lean construction* (1° Edición). <https://www.fundacionlaboral.org/uploads/documento/applications/arch5333ddd498d7a.pdf>
- Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *REVISTA UNIVERSIDAD LIBRE*, 11(1). <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/download/298/235/>
- PRODUCTION TOOLS. (2021, September 10). *8 desperdicios en el Lean Manufacturing.* LEAN MANAGEMENT. <https://productiontools.es/lean/desperdicios-en-el-lean-manufacturing/>
- PROGRESSA LEAN. (2015, June 23). *LEAN CONSTRUCTION: LA MEJORA CONTINUA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.* PROGRESSA LEAN. <https://www.progressalean.com/lean-construction-la-mejora-continua-en-el-sector-de-la-construccion/>

- Quintero, L. (n.d.). Lean Manufacturing, una herramienta que agrega valor en la organización . *Latin Pyme*. Retrieved September 27, 2021, from <https://www.latinpymes.com/lean-manufacturing-una-herramienta-que-agrega-valor-en-la-organizacion/>
- Quiroa, M. (n.d.). *Ciclo de Deming*. ECONOMIPEDIA. Retrieved September 27, 2021, from <https://economipedia.com/definiciones/ciclo-de-deming.html>
- Rajadell, M., & Garriga, F. (2003). Aplicación de la Matriz de Autocalidad en un proceso productivo. *V Congreso de Ingeniería de Organización*, 1–6. http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2003//Art_114.pdf
- Rubio-Romero, J. C., Pardo Ferreira, M. del carmen, & López-Arquillos, A. (2019). Poka-yokes as occupational preventive measures in construction safety. A review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 791, 556–562. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94589-7_54
- Saad, D. A., Masoud, M., & Osman, H. (2021). Multi-objective optimization of lean-based repetitive scheduling using batch and pull production. *Automation in Construction*, 127. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S0926580521001473?via%3Dihub>
- Salazar, B. (2019, November 1). *Poka-Yoke: A prueba de errores*. INGENIERIA INDUSTRIAL ONLINE. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/poka-yoke-a-prueba-de-errores/>
- Sebastian, A. E. (2019). Analysis Lean Construction Application to Reduce Material Waste at Bridge Construction Project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 328(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/328/1/012001>
- S.F, . Fam, N, I, H, Y., D.D, P., & B.P, . Lau. (2017). LEAN MANUFACTURING AND OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY (OEE) IN PAPER MANUFACTURING AND PAPER PRODUCTS INDUSTRY. *Faculty of Science & Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia*. https://www.researchgate.net/publication/327664585_Lean_manufacturing_and_overall_equipment_efficiency_OEE_in_paper_manufacturing_and_paper_products_industry

- Shaour, E. N. (2022). The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003026?via%3Dihub>
- Shetty, P., & Rao, P. (2019). Importance of Lean Concepts and its Need in Construction Projects. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 2534–2541.
<https://doi.org/10.35940/ijrte.B1575.078219>
- Singh, S., & Kumar, K. (2021). A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 1153–1162.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>
- Soman, R. K., & Molina, M. (2022). Automating look-ahead schedule generation for construction using linked-data based constraint checking and reinforcement learning. *Automation in Construction*, 134.
<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2191/science/article/pii/S0926580521005203?via%3Dihub>
- Tejeda, A. (2011). Productions Systems improvements with Lean Manufacturing. *Ciencia y Sociedad*, 36(2), 276–310. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87019757005.pdf>
- THINK PRODUCTIVITY. (2017, September 6). *Kanban en la construcción*. <https://think-productivity.com/author/miriam/>
- Uddin, M. M. (2020). Lean construction quality assurance opportunities in highway construction. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 553–564.
<https://doi.org/10.24928/2020/0013>
- Villamizar, D., & Ortiz, L. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION EN LA CONSTRUCTORA COLPROYECTOS S.A.S. DE UN PROYECTO DE VIVIENDA EN EL MUNICIPIO DE VILLA DEL ROSARIO*.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/164908.pdf>
- Vilventhan, A., Ram, V. G., & Sugumaran, S. (2019). Value stream mapping for identification and assessment of material waste in construction: A case study. *Waste Management and Research*, 37(8), 815–825. <https://doi.org/10.1177/0734242X19855429>

Vollmann, T. (2005). *PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCION* (Mc Graw Hill, Ed.; 5th ed.).

Zanotti, N., Maranhao, F., & Castex, V. (2017). Bottom-up Strategy for Lean Construction on Site Implementation. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2*, 325–331. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-9d4129ce-36ba-44c3-a469-bc918c012ac7.pdf>

Zigurat Global Institute of Technology. (2021, April 30). *Lean Construction y las ventajas de su implantación*. <https://www.e-zigurat.com/blog/es/lean-construction-ventajas-implantacion-caso-elo-construcciones/>