



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

**Usted es libre de:**



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

**Bajo las condiciones siguientes:**



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

## TRABAJO DE GRADO

ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN MODULAR, BAJO LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION PARA LA EMPRESA SMART BRIX, EN EL PROYECTO DEL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

CHRISTIAN ALEJANDRO DIAZ AREVALO

LUIS EDUARDO TERREROS ROJAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS

BOGOTÁ D.C

2020

TRABAJO DE GRADO

ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN MODULAR, BAJO LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION PARA LA EMPRESA SMART BRIX, EN EL PROYECTO DEL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

CHRISTIAN ALEJANDRO DIAZ AREVALO

LUIS EDUARDO TERREROS ROJAS

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Gerencia de Obras.

Docente

ING. GUILLERMO CORTES  
INGENIERO CIVIL COORDINADOR AREA DE VIAS Y TRANSPORTE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS

BOGOTÁ D.C

2020

## TABLA DE CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| Introducción  | 8    |
| 1. Generalidades  | 9    |
| 1.1. Línea de Investigación   | 9    |
| 1.2. Planteamiento del Problema   | 9    |
| 1.2.1. Antecedentes del problema  | 10   |
| 1.2.2. Pregunta de investigación  | 12   |
| 1.2.3. Variables del problema   | 12   |
| 1.3. Justificación  | 12   |
| 1.4. HIPÓTESIS  | 13   |
| 2. Objetivos  | 14   |
| 2.1. Objetivo general   | 14   |
| 2.2. Objetivos específicos  | 14   |
| 3. Marcos de referencia   | 15   |
| 3.1. Marco conceptual   | 15   |
| 3.1.1. Proyecto.  | 15   |
| 3.1.2. CONSTRUCCION TRADICIONAL.  | 16   |
| 3.1.3. Construcción modular.  | 16   |
| 3.1.4. Filosofía lean   | 17   |
| 3.2. Marco teórico  | 18   |
| 3.2.1. Lean construction  | 18   |
| 3.2.1.1. Principios básicos del lean construction   | 18   |
| 3.2.2.2. Mejora Continua (Ciclo de Deming)  | 21   |
| 3.2.2.3. Tipos Pérdidas y Trabajos En La Construcción   | 21   |
| 3.2.1.1. Herramientas Y TECNICAS Lean   | 23   |
| 3.2.1.1.1. JUST IN TIME   | 23   |
| 3.2.1.1.2. "5 S"  | 24   |
| 3.2.1.1.3. Prueba de los 5 minutos  | 24   |
| 3.2.1.1.4. Value Stream Mapping "VSM"   | 25   |
| 3.2.1.1.5. KANBAN   | 26   |
| 3.2.1.2. Principales Diferencias Entre El Sistema De Producción Tradicional Y El Sistema Lean | 28   |

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Marco jurídico                               | 29 |
| 3.2. Marco geográfico                             | 30 |
| 3.3. Marco demográfico                            | 31 |
| 3.4. Estado del arte                              | 31 |
| 4. Metodología                                    | 36 |
| 4.1. Fases del trabajo de grado                   | 36 |
| 4.2. Instrumentos o herramientas utilizadas       | 39 |
| 4.3. Población y muestra                          | 39 |
| 4.4. Alcances y limitaciones                      | 40 |
| 5. Productos a entregar                           | 41 |
| 6. ENTREGA DE RESULTADOS E IMPACTOS               | 42 |
| 6.5. Como Responde a la pregunta de investigación | 68 |
| 7. NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO                        | 70 |
| 8. CONCLUSIONES                                   | 71 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA                                   | 73 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| FIGURA 1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA SMART BRIX .....                                | 10   |
| FIGURA 2. CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.....   | 16   |
| FIGURA 3. CONSTRUCCIÓN MODULAR.....   | 17   |
| FIGURA 4. ORIENTACIÓN DEL PENSAMIENTO LEAN.....   | 19   |
| FIGURA 5. TIPOS DE DESPERDICIO. ....  | 19   |
| FIGURA 6. BENEFICIOS Y OBSTÁCULOS DE PERMITIR QUE EL FLUJO DE VALOR FLUYA SIN<br>INTERRUPCIONES. .... | 20   |
| FIGURA 7. MEJORA CONTINUA. ....   | 21   |
| FIGURA 8. TIPOS DE PÉRDIDAS. ....   | 22   |
| FIGURA 9. FUENTE DE PÉRDIDAS.....   | 23   |
| FIGURA 10. TIEMPOS Y TRABAJOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....   | 23   |
| FIGURA 11. TÉCNICA DE LAS 5S.....   | 24   |
| FIGURA 12. FORMATO PARA PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS .....   | 25   |
| FIGURA 13. VALUE STREAM MAPPING “VSM” .....   | 26   |
| FIGURA 14. TÉCNICA KANBAN .....   | 27   |
| FIGURA 15. PLANES DEL SISTEMA LAST PLANNER. ....  | 27   |
| FIGURA 16. DIFERENCIAS ENTRE EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL Y LEAN. ....                        | 28   |
| FIGURA 17. UBICACIÓN DE OFICINA SMART BRIX .....  | 30   |
| FIGURA 18. UBICACIÓN DEL PROYECTO .....   | 30   |
| FIGURA 19. RENDER DE PROYECTO DEL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL.....                                 | 31   |
| FIGURA 20. CRONOGRAMA DE TRABAJO DE GRADO. ....   | 37   |
| FIGURA 21. LIMPIEZA DE ZONAS DE TRABAJO .....   | 47   |
| FIGURA 22. LIMPIEZA DE ZONAS DE TRABAJO .....   | 47   |
| FIGURA 23. LIMPIEZA DE BAÑOS. ....  | 47   |
| FIGURA 24. RETIRO DE SOBRANTES .....  | 48   |
| FIGURA 25. LIMPIEZA DE ALMACÉN.....   | 48   |
| FIGURA 26. CAPACITACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA DISCIPLINA (SHITSUKE).....                            | 51   |
| FIGURA 27. FORMATO PARA EL CÁLCULO DE PERDIDAS.....   | 52   |
| FIGURA 28. ARMADO DE MÓDULOS. ....  | 53   |
| FIGURA 29. GRÁFICO DE TIEMPOS DE ARMADO DE MÓDULOS. ....  | 53   |
| FIGURA 30. ASEGURAMIENTO DE ADOSAMIENTO. ....   | 54   |
| FIGURA 31. GRÁFICO DE TIEMPOS DE ASEGURAMIENTO DE ADOSAMIENTO. ....                                   | 54   |
| FIGURA 32. ASEGURAMIENTO DE APILAMIENTO. ....   | 55   |
| FIGURA 33. GRÁFICO DE TIEMPOS DE ASEGURAMIENTO DE APILAMIENTO. ....                                   | 55   |
| FIGURA 34. ASEGURAMIENTO DE ARRIOSTRAMIENTO. ....   | 56   |
| FIGURA 35. GRÁFICO DE TIEMPOS DE ASEGURAMIENTO DE ARRIOSTRAMIENTO.....                                | 56   |
| FIGURA 36. INSTALACIÓN DE FIBROCEMENTO. ....  | 57   |
| FIGURA 37. GRÁFICO DE TIEMPOS DE INSTALACIÓN DE FIBROCEMENTO.....                                     | 57   |
| FIGURA 38. CHARLA SOBRE EL MANEJO DEL TIEMPO EN OBRA. ....  | 58   |
| FIGURA 39. CONTROL DE AVANCE DE ASEGURAMIENTO DE BLOQUES INICIAL. ....                                | 59   |
| FIGURA 40. CONTROL DE AVANCE DE ASEGURAMIENTO DE BLOQUES FINAL. ....                                  | 59   |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 41. ETAPAS PARA DISEÑAR UN MAPA DE FLUJO DE VALOR.....  | 60 |
| FIGURA 42. GRÁFICO DE PARETO DE PROCESOS DEFICIENTES EN CONSTRUCCIÓN<br>MODULAR .....                | 61 |
| FIGURA 43. SIMBOLOGÍA DEL VSM.....   | 64 |
| FIGURA 44. MAPA DEL FLUJO DE VALOR (VSM) DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE<br>ARMADO DE MÓDULOS ..... | 65 |
| FIGURA 45. MAPA DEL FLUJO DE VALOR (VSM) DEL ESTADO FUTURO DEL PROCESO DE<br>ARMADO DE MÓDULOS ..... | 66 |

## LISTA DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| TABLA 1. CONCEPTOS PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS: .....                                | 15   |
| TABLA 2. MARCO JURÍDICO .....   | 29   |
| TABLA 3. ESTADO DEL ARTE .....  | 32   |
| TABLA 4. PRESUPUESTO ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO .....                             | 39   |
| TABLA 5. ENCUESTA DE ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA SMART BRIX S.A.S .....                 | 43   |
| TABLA 6. ENCUESTA DE EXPERIENCIA EN CONSTRUCCIÓN MODULAR DE PERSONAL<br>OPERATIVO ..... | 44   |
| TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES. ....<br>.....                      | 45   |
| TABLA 8. PAUTAS PARA ORGANIZAR ARTÍCULOS NECESARIOS.....                                | 46   |
| TABLA 9. ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES DE LIMPIEZA. FUENTE: AUTOR .....               | 46   |
| TABLA 10. MONITOREO INICIAL DE LA HERRAMIENTA DE LAS 5S.....                            | 49   |
| TABLA 11. RESULTADO INICIAL DE LA HERRAMIENTA DE LAS 5S.....                            | 49   |
| TABLA 12. MONITOREO FINAL DE LA HERRAMIENTA DE LAS 5S.....                              | 50   |
| TABLA 13. RESULTADO FINAL DE LA HERRAMIENTA DE LAS 5S.....                              | 50   |
| TABLA 14. FRECUENCIA DE PROCESOS DEFICIENTES EN CONSTRUCCIÓN MODULAR .....              | 60   |
| TABLA 15. PROCESOS DE ARMADO DE MÓDULOS.....  | 61   |
| TABLA 16. CÁLCULO DE MÉTRICAS DEL PROCESO.....  | 63   |
| TABLA 17. CÁLCULO DE DEMANDA .....  | 63   |
| TABLA 18. CÁLCULO DE LEAD TIME.....   | 63   |
| TABLA 19. CÁLCULO DE VALOR AGREGADO.....  | 63   |
| TABLA 20. CÁLCULO DE TAKT TIME.....   | 64   |
| TABLA 21. PLAN DE ACCIÓN PARA EL PROCESO DE ARMADO DE MÓDULOS.....                      | 67   |



## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción a lo largo del tiempo se ha visto inmersa en diferentes cambios a nivel gerencial y de procesos constructivos, por lo tanto, es uno de los sectores a nivel mundial en donde se ha evidenciado la mayor cantidad de avances tecnológicos, ambientales y sociales, siendo esto de gran repercusión en el crecimiento económico de un país, por lo tanto las industrias y las empresas constructoras se han visto obligadas a dejar a un lado el método tradicional y adoptar las llamadas metodologías ágiles, las cuales permiten mejoras en la productividad, calidad de los productos y disminución en tiempos de ejecución, permitiendo mayor eficacia y ganancias para sus empresas.

Debido a estos cambios la industria de la construcción ha buscado la forma de adaptarse, estableciendo distintos métodos que permiten aumentar su productividad, basándose en herramientas que ayudan a realizar el trabajo en un menor tiempo, un menor costo y bajo un ambiente de seguridad. En resumen, alternativas que permitan la eliminación de las pérdidas e ineficiencias en los procesos internos de una organización.

Una de las metodologías más recientes en la industria de la construcción es la metodología LEAN CONSTRUCTION, la cual es un modelo de administración del tiempo y el flujo de los recursos de construcción, y tiene como objetivo principal diseñar un sistema de producción para minimizar las pérdidas de materiales, tiempo y esfuerzo, esto con el fin de generar la máxima cantidad posible de valor en la compañía.

Al conocer los beneficios de esta metodología, se plantea realizar una evaluación interna en la empresa, bajo algunos de los lineamientos de la metodología Lean, tomando como caso de estudio la construcción del ministerio de defensa nacional, el cual se encuentra en proceso de construcción por la empresa Smart Brix, líder en construcción modular prefabricada.

La aplicación de estos conceptos se hará mediante la elaboración de una guía de procesos constructivos, basada en la gestión de los recursos, por medio de un enfoque que permita analizar y disminuir tiempos de ejecución, costos y desperdicios en las diferentes fases del proyecto y así maximizar las ganancias de la empresa para proyectos futuros, por lo cual se tomó como base la guía del PMBOK 6 ED en donde se especifican todos los conceptos clave para la ejecución y la gerencia de proyectos, como lo son: el inicio, la planificación, la ejecución, el monitoreo, el control y el cierre, con el fin de complementar y analizar a mayor profundidad la metodología Lean Construction en la construcción de la sede del ministerio de defensa nacional.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación sobre la cual se enfoca el desarrollo del presente proyecto, es la Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales, ya que esta línea nos permite identificar y analizar de forma clara la utilización de la metodología Lean Construction en el presente trabajo de grado.

### 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector de la construcción se observan varias problemáticas y necesidades en referencia a los tiempos y costos de un proyecto, desde su etapa de planeación y a lo largo de su ciclo de vida, debido a esto se ve la necesidad de indagar en las diferentes herramientas o metodologías que permitan una disminución de la misma, por lo tanto, se puede evidenciar como ejemplo la construcción de edificaciones bajo el concepto de la construcción tradicional o convencional, la cual presenta altos grados de desperdicios y reprocesos a lo largo de su ejecución, repercutiendo de forma directa en la programación de obra y en el presupuesto del proyecto.

Debido a esta problemática, la empresa Smart Brix optó por la construcción modular prefabricada la cual es considerada una metodología ágil en comparación con la convencional, pero la cual a pesar de ser una metodología ágil en cuanto a los procesos constructivos presenta los mismos hábitos como lo son diseños y cronogramas poco detallados, falta de orden en la ubicación de materiales y utilización de herramientas o equipos de forma ineficiente, lo que ocasiona que las actividades se ejecuten en diferentes órdenes de lo planeado en el proyecto, causando retrasos y sobrecostos durante su ejecución.

Por lo cual, según lo anunciado anteriormente, se evidencia bajo la experiencia laboral en la empresa Smart Brix, que el personal gerencial eventualmente no hace uso de todos los recursos que tiene a su disposición para el desarrollo de cada proyecto de construcción, y que el personal operativo ocasionalmente desconoce las directrices bases que permiten evitar retrasos en la ejecución de actividades; por consecuencia, se generan retrasos en las actividades y así mismo se afecta la rentabilidad del proyecto.

A continuación, se presenta un diagnóstico del estado actual de la empresa Smart Brix:

**Figura 1. Diagnóstico del estado actual de la empresa Smart Brix**

| DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA SMARTBRIX |   |
|---|---|
| AREA  | PROBLEMÁTICA  |
| Técnica   | Falta de coordinación al momento de suministrar insumos y herramientas  |
|   | Reprocesos por falta de planeación previa.  |
|   | Incumplimiento en fechas de entrega   |
| Operativa   | Personal bajamente calificado en la construcción modular y utilizado para diferentes tareas de las cuales son contratados |
|   | Insumos ubicados lejos de la zona de trabajo  |
|   | Trabajadores con falta de sentido común, escucha y sentido de pertenencia por la empresa                                  |

*Fuente: Autor*

### 1.2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A lo largo del tiempo se han observado grandes problemáticas en cada uno de los sectores de la economía de un país; según Pérez Raúl, la segunda guerra mundial dejó una gran crisis económica en Japón causando la pérdida del 42% de la riqueza nacional y el 44% del capital industrial del país, esto llevó al pueblo japonés a intentar reconstruir su economía, logrando no solo reconstruirla sino causando que esta se convirtiera en una de las naciones industrializadas más importantes del mundo, este crecimiento fue posible debido a la importancia dada a la tecnología, tomando como base los métodos de producción americanos y modificándolos de tal forma que le permitieron reconstruir su industria en un corto periodo de tiempo, todo este esfuerzo se tradujo en conseguir mejores resultados con un menor uso de recursos, siendo esto en uno de los principios bases de la filosofía Lean. (PÉREZ, 2011)

Debido a esta problemática también podemos evidenciar las que se presentan en el sector de la construcción, donde la Revista Ingeniería de Construcción considera que "{...} Los constructores de proyectos civiles se enfrentan al reto de aumentar la productividad a través de la optimización de recursos y la interacción de los mismos. Este reto también exige al sector de la construcción, la implementación de nuevas tecnologías de información y herramientas digitales como estrategia efectiva para la captura de datos confiables que contribuyan en mejorar indicadores de productividad, seguridad y calidad" (Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital, 2012)

Por otra parte, según Porras Hernán y otros, la industria de la construcción se define como parte importante del aparato económico de un país, en cuanto el Lean Construction es un nuevo pensamiento introducido por el profesor Lauri Koskela en el año 1992 basado en el modelo utilizado por los japoneses en la industria

automovilística en los años 80, según Koskela los proyectos constructivos tienen gran incertidumbre en su planificación y una mala ejecución del proyecto, por lo tanto, el Lean Construction ve la construcción como un proceso transformador que permite optimizar, reducir o eliminar los tiempos de entrega del proyecto. (Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos, 2014)

Aunado a lo anterior, podemos evidenciar como en la industria de la construcción se han venido creando e implementando nuevas metodologías como el Lean Construction, la cual permite atender los problemas que se presentan a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

Considera Pons Juan, que en las últimas décadas se han visto grandes cambios a nivel de los modelos productivos, siendo los cambios en la construcción un poco más lentos debido a los avances que actualmente produce EEUU y su aplicación a nivel mundial, la aplicación de la metodología Lean Construction se está evidenciando en gran medida en los países nórdicos y de cultura anglosajona, y se está viendo gran crecimiento en el interés por esta metodología en América Latina especialmente en países como Chile, Brasil y Perú. (PONS, 2014)

Según Porras Hernán y otros, los países de Latinoamérica con mayores avances en el uso de la metodología Lean Construction son: Brasil, Chile, Perú y Colombia; siendo en este último utilizado en gran medida por el sector privado. En Colombia estas investigaciones inician en el año 2002 por Camacol y el Arquitecto Luis Fernando Botero, profesor de la Universidad Eafit; a estos estudios se suman proyectos de grado de estudiantes de Ingeniería civil y capacitaciones brindadas por Camacol en convenio con la Universidad Eafit a profesionales de empresas como Triada, Urbansa, Arpro, Arrecife y Construmax, brindando estas oportunidades de mejora en los tiempos de entrega y reducción de los costos del proyecto al utilizar la metodología Lean Construction. (Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos, 2014)

Actualmente, se ha evidenciado el crecimiento en el uso del Lean Construction a nivel nacional, ya que esta metodología permite a las empresas reducir costos, gracias a la optimización de recursos que permiten mejorar la productividad y calidad de vida de los trabajadores, debido a este crecimiento el profesor Lauri Koskela y la Regional Bogotá y Cundinamarca de Camacol han reconocido a 18 empresas colombianas, líderes en la utilización de esta metodología en sus proyectos constructivos. (CAMACOL, 2015)

El sector de la construcción se hace más exigente al pasar el tiempo, debido a esta necesidad las empresas han optado por ser más productivas y eficientes, por lo tanto, empleando las palabras de Argos se menciona que. "{...} Lean nos ayuda a hacer más con menos, lo que se traduce en mayor productividad, además nos ayuda a tener clientes felices y satisfechos por la excelente calidad y el cumplimiento en los tiempos de entrega". (ÁLVAREZ, 2015)

De acuerdo a lo expuesto por Mejía Camilo y otros “{...} En los últimos años, Lean Construction (LC) se ha dado a conocer entre la industria de la construcción, en Colombia por su potencial comprobado de reducción de residuos, capacidad de aumentar el valor y mejorar el rendimiento general del proyecto”. (A route map for implementing last planner® system in Bogotá, Colombia, 2016)

### 1.2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera la metodología Lean Construction permite detectar y mejorar los procesos deficientes en la ejecución de proyectos de construcción modular prefabricada en la empresa Smart Brix?

### 1.2.3. VARIABLES DEL PROBLEMA

Habiendo plasmado la problemática en la investigación, se pueden presentar las siguientes variables:

- Planificación, presupuesto y programación: Estas se ejecutan de forma incorrecta debido a que el personal gerencial presenta falencias en los procesos técnicos, debido a la falta de capacitación en las nuevas tecnologías de innovación.
- Personal operativo: El personal a cargo de la realización de las labores se da por mano de obra directa e indirecta (contratistas), por lo cual no cuenta con capacitaciones que permitan brindar nuevos conocimientos y destrezas para la ejecución de los trabajos.
- Recursos humanos: no está orientada a la alineación estratégica de la empresa, permitiendo realizar evaluaciones internas en el personal gerencial y operativo que permitan mediante indicadores de desempeño en las diferentes áreas de conocimiento la mejora continua de la compañía.
- Tiempo contributivo: Actividades que sirven de apoyo y son necesarias, pero no agregan valor al proyecto.
- Tiempo no contributivo o no productivo: Actividades innecesarias, que tienen un costo asociado y que no agregan valor al proyecto.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación pretende dar a conocer la relevancia que tiene la construcción modular y por otra parte realizar una guía de los procesos constructivos en la construcción de sistemas modulares bajo la metodología Lean Construction para la empresa Smart Brix, ya que esta se centra en la concientización y la utilización de herramientas para la eliminación de pérdidas.

Debido a los problemas anteriormente descritos, para el siguiente trabajo se planteó realizar en primera instancia investigaciones sobre diferentes metodologías en las cuales se pudiera evidenciar mejoras en la ejecución del proyecto, para así obtener

menores tiempos de ejecución y a su vez ganancias en costos, de lo cual se observaron distintas metodologías a nivel gerencial de proyectos, las cuales se han venido implementando a través de los tiempos en el ámbito de la construcción.

Dentro de estas metodologías, aparece la filosofía Lean como una de las nuevas técnicas utilizadas para la gestión de proyectos de construcción y sobre la cual se realizara el caso de estudio en la empresa Smart Brix, ya que se busca generar un cambio en la forma en cómo vemos los procesos constructivos y la gerencia de obras, en donde su objetivo principal es evaluar el sistema de producción actual, con el fin de disminuir a su máxima expresión posible las pérdidas de materiales, tiempo y esfuerzo utilizado en cada actividad, maximizando la mayor cantidad posible de valor.

Una vez dicho lo anterior, este documento se enfoca en realizar un estudio sobre los temas más relevantes durante la ejecución del proyecto los cuales son: rendimientos y tiempos de ejecución con el fin de que se pueda hacer una disminución sobre estos y poderlo implementar en proyectos futuros.

Mediante estos puntos más relevantes lo que se busca es sugerir alternativas para la empresa, proporcionando mejoras sobre los procesos que se han venido llevando a cabo durante la ejecución del proyecto, obteniendo la posibilidad de que esta guía arroje una disminución en cada uno de estos puntos.

#### 1.4. HIPÓTESIS

Con la utilización de la metodología LEAN CONSTRUCTION se logran establecer parámetros que permiten diseñar un sistema de producción para la minimización de pérdidas y maximizar el valor del producto final.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía de procesos constructivos para la construcción de sistemas modulares bajo la metodología Lean Construction, en la empresa Smart Brix en el caso de estudio de la sede del ministerio de defensa nacional.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los procesos ejecutados en la construcción de sistemas modulares en el proyecto del ministerio de defensa nacional, para verificar las deficiencias bajo los conceptos de la metodología Lean Construction.
- Identificar las herramientas de la metodología Lean Construction que pueden contribuir en la optimización de recursos en la empresa Smart Brix, con el fin de mejorar la economía y crecimiento de la misma.
- Plantear a la empresa una guía de procesos constructivos y controles necesarios a tener en cuenta, en la construcción de sistemas modulares bajo algunos de los lineamientos de la metodología Lean.

### 3. MARCOS DE REFERENCIA

#### 3.1. MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1. PROYECTO.

Un proyecto se define como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo con la finalidad de crear un producto, servicio o resultado único, Según la Guía del PMBOK 6 ED “{...} Los proyectos se llevan a cabo para cumplir objetivos mediante la producción de entregables. Un objetivo se define como una meta hacia la cual se debe dirigir el trabajo, una posición estratégica que se quiere lograr, un fin que se desea alcanzar, un resultado a obtener, un producto a producir o un servicio a prestar” (Project Management institute, 2017)

**Tabla 1.** Conceptos para la ejecución de proyectos:

| Concepto                   | Definición   |
|----------------------------|--|
| Actividad                  | Porción definida y planificada de trabajo ejecutado durante el curso de un proyecto.   |
| Alcance del proyecto       | Trabajo realizado para entregar un producto, servicio o resultado con las funciones y características especificadas.   |
| Calidad                    | Grado en el que un conjunto de características inherentes satisface los requisitos.  |
| Ciclo de vida del proyecto | Serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su conclusión.  |
| Cronograma del proyecto    | Salida de un modelo de programación que presenta actividades vinculadas con fechas planificadas, duraciones, hitos y recursos.   |
| Entregable                 | Producto, resultado o capacidad único y verificable para ejecutar un servicio que se debe producir para completar un proyecto.   |
| Esfuerzo                   | Cantidad de unidades laborales necesarias para terminar una actividad del cronograma o un componente de la estructura de desglose del trabajo, generalmente expresado en horas, días o semanas de trabajo. |
| Ejecutar                   | Dirigir, gestionar, realizar y llevar a cabo el trabajo del proyecto, proporcionar los entregables y brindar.  |
| Pérdidas                   | Actividades que no agregan valor, pero que consumen, tiempo, recursos y espacio, generando costos en proceso de producción.  |

*Fuente: Autor-Guía del PMBOK 6 ED*



### 3.1.2. CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.

La construcción tradicional es el sistema constructivo más utilizado y antiguo, el cual se basa en ser un método con gran solidez y durabilidad, la cual consta de una estructura de paredes portantes (ladrillos, piedra, bloques, u hormigón), esta técnica es lenta y su estructura es pesada, para su construcción son empleados equipos y mano de obra simple, pero requiere reprocesos sobre la marcha (Ej. Construir la pared y luego romperla para instalaciones hidráulicas o eléctricas). (Cadena, 2014)

**Figura 2.** *Construcción tradicional.*



Fuente: <https://armandoiachini.com/armando-iachini-el-futuro-en-construcciones-yamaro/>

### 3.1.3. CONSTRUCCIÓN MODULAR.

Uno de los nuevos sistemas constructivos que se han evidenciado en la actualidad es la construcción modular, este sistema consiste en ensamblar módulos estandarizados permitiendo agilizar los procesos de construcción y mejores oportunidades a la hora de diseñar y personalizar los espacios.

De acuerdo con NEOBLOCK la construcción modular sin importar la naturaleza de su construcción brinda materiales de primera calidad sin afectar los costos del proyecto, siendo este tipo de construcciones más ágiles, a menor costo y sin que esto afecte la calidad del producto. (NEOBLOCK BUILD YOUR WORLD, 2016)

**Figura 3. Construcción modular.**



Fuente: Autor.

#### 3.1.4. FILOSOFÍA LEAN

La filosofía Lean se centra en la reducción de los desperdicios, siendo los desperdicios las actividades que gastan recursos, pero no agregan valor al producto final, según García Recaredo “{...} El Lean Lexicón, define Lean Production, como un sistema que permite reducir el espacio de almacenaje y fabricación, el capital, los recursos y el tiempo de fabricación de los productos, que tendrán menos defectos y se ajustarán mejor a las necesidades del cliente.” (LEAN CONSTRUCTION: CONCEPTO, TÉCNICAS Y, 2016).

Por otra parte, la filosofía Lean se basa en siete principios, los cuales son:

- **Eliminar desperdicio:** “{...} todo aquello que no le aporta un beneficio al cliente y que no sea directamente valioso para él, debe ser eliminado.” (DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017)
- **Optimizar el todo:** “{...} Hay que pensar desde un punto de vista global y orientado al largo plazo. La optimización de una pequeña parte del sistema puede afectar negativamente al conjunto del mismo.” (DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017)
- **Calidad integrada:** “{...} El producto debe construirse con una calidad óptima desde el primer momento.” (DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017)
- **Aprender constantemente:** “{...} La creación debe entenderse como un experimento, de forma que se acepte el cambio con normalidad.” (DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017)

- **Reaccionar rápido:** “{...} Implementar rápidamente y con calidad las soluciones que el cliente necesita y que le interesan en ese momento para posteriormente ir adaptando de forma rápida el producto a medida que se vayan detectando nuevas necesidades.” (*DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017*)
- **Mejora continua:** “{...} La mejora debe concentrarse en las personas y en los procesos que hacen posible construir un producto y no en mejorar exclusiva y directamente el producto en sí.” (*DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017*)
- **Cuidar al equipo de trabajo:** Un equipo de trabajo debe estar motivado y sentir que su trabajo es valioso en todo momento. (*DE LAS HERAS DEL DEDO, y otros, 2017*).

### 3.2. MARCO TEÓRICO

Para el presente trabajo investigativo se realiza un estudio de la teoría implicada, para ello se parte por definir y entender en qué consiste la Metodología LC y su aplicación en la construcción, como un nuevo pensamiento en la gestión de proyectos.

#### 3.2.1. LEAN CONSTRUCTION

De acuerdo con Porras Hernán y otros “{...} Las bases teóricas de LC propuestas por Koskela pretenden ver la producción en la construcción como un proceso de transformación, de flujo y generador de valor, en consecuencia, el objetivo de Lean Construction es crear buenos sistemas de producción que permitan optimizar, reducir o eliminar los flujos para mejorar los tiempos de entrega.” (*Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos, 2014*)

Por otra parte, el Lean Construction Enterprise considera que el LC ha propiciado el cambio en la construcción de proyectos, debido a la maximización del valor final y disminución de las pérdidas, permitiendo así el incremento de la productividad en los proyectos de construcción. (*Lean Construction Enterprise, 2016*)

##### 3.2.1.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL LEAN CONSTRUCTION

Según Rojas Miguel y otros “{...} Los principios básicos del concepto “LEAN” se basan en que no hay “desperdicios”, de lo cual surgen dos palabras “valor” y “desperdicios”. Se pretende maximizar el valor de los proyectos y eliminar los desperdicios que existen en ellos” (*Lean construction LC bajo pensamiento Lean, 2015*)

El Lean Construction brinda la oportunidad de:

**Figura 4. Orientación del pensamiento Lean.**

- eliminar las pérdidas por demoras e ineficiencias en los procesos internos de la firma,
- prevenir y eliminar fallas de equipos, interrupciones y otras pérdidas de producción,
- buscar de manera continua la perfección y las mejoras de calidad.

*Fuente: Pablo Lledó-Administración Lean De Proyectos Eficiencia En La Administración De Proyectos*

A continuación, se evidencian los 5 principios básicos del pensamiento Lean:

**1. Especifique el valor de cada Proyecto desde la perspectiva del cliente.**

“{...} Ponerse del lado del Cliente para evaluar si una actividad crea valor es una prueba crítica de cualquier actividad. El Cliente paga por las cosas que cree que tienen valor. Esto es muy diferente a pensar que ellos compran las cosas que nosotros pensamos que son valiosas.” (LLEDÓ, y otros, 2015)

**Figura 5. Tipos de desperdicio.**

Desperdicio Tipo 1 = actividad parcialmente sin valor agregado, pero necesaria para completar las tareas. Sólo agregan costos al proyecto.

Desperdicio Tipo 2 = actividades que carecen de valor agregado. “Muda” a eliminar.

*Fuente: Pablo Lledó-Administración Lean De Proyectos Eficiencia En La Administración De Proyectos*

**2. Identifique el flujo de Valor.**

“{...} El flujo de valor se compone de todas las tareas necesarias que deben ser completadas para entregar el producto o servicio final al cliente. Muchas de las tareas que emprendemos no agregan ningún valor adicional al cliente por el que estaría dispuesto a pagar.” (LLEDÓ, y otros, 2015)

### 3. Permita que el flujo de valor fluya sin interrupciones.

“{...} Hay que enfocarse en el cliente y crear una corriente de valor, diseñada específicamente para satisfacer sus necesidades. Se debe eliminar “muda o desperdicio” del flujo de valor y reducir el plazo de espera para la entrega del producto o servicio.” (LLEDÓ, y otros, 2015)

*Figura 6. Beneficios y obstáculos de Permitir que el flujo de valor fluya sin interrupciones.*

| FLUJO DE VALOR   |   |
|--|---|
| Beneficios Al realizarlo al inicio del proyecto                | Obstáculos típicos a remover del flujo de valor       |
| Liberar espacios   | Rigidez de los departamentos funcionales              |
| Descubrir que tenemos demasiado stock en el proceso industrial | Ciclos de aprobación recurrentes                      |
| Cambiar un proceso ineficiente                                 | Cambios constantes en los requerimientos del proyecto |
| Entender que los empleados pueden no ser multifuncionales      | Interferencia innecesaria de la gerencia general      |

*Fuente: Pablo Lledó-Administración Lean De Proyectos Eficiencia En La Administración De Proyectos*

### 4. Permitir al cliente que extraiga valor del equipo de proyectos.

“{...} Sólo debemos construir lo que nuestro cliente necesita, de esta manera debemos permitir que nuestro cliente sea nuestro regulador de agendas y que nos diga lo que debemos estar haciendo día de día” (LLEDÓ, y otros, 2015)

### 5. Buscar permanentemente la Perfección.

“{...} Durante la ejecución del proyecto será necesario la búsqueda permanente de la perfección a los fines de evitar la Ley de Entropía: las cosas de nuestro mundo vuelven a su estado natural y tienden a ser cada vez más caóticas a lo largo del tiempo. Por lo tanto, es imprescindible la búsqueda permanente de la perfección para tener cada vez proyectos más exitosos.” (LLEDÓ, y otros, 2015)

### 3.2.2.2. MEJORA CONTINUA (CICLO DE DEMING)

Los procesos de mejora continua en una organización deben estar documentados y establecidos en cada uno de sus niveles jerárquicos, esto con el fin de “{...} evitarse la creación de departamentos o entes internos dedicados a ella, así como la intervención de partes externas en su desarrollo y el uso de expertos en mejora para las actividades cotidianas. Un requisito indispensable para la mejora es el trabajo en equipo.” (Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), 2012)

Por otra parte, según Alarcón Luis y otros “{...} El ciclo de Deming es una herramienta de gestión de la calidad y que por su gran aceptación actualmente está incluida en la norma internacional ISO9001. Sus siglas en español corresponden a PHES (Planificar, hacer, estudiar y actuar)” (ALARCON, y otros, 2017)

**Figura 7.** Mejora continua.



*Fuente: centro de excelencia en gestión de la producción GEPUC.*

### 3.2.2.3. TIPOS PÉRDIDAS Y TRABAJOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Las pérdidas que se generan en el campo de la construcción son aquellas que no generan valor al producto final, pero si usan recursos durante su ejecución, estas pueden clasificarse en 9 tipos de pérdidas para la aplicación de la filosofía Lean.

**Figura 8.** Tipos de pérdidas.

| TIPOS DE PÉRDIDA  | DEFINICIÓN   |
|---|--|
|  > ESPERA                | Interrupciones del trabajo o tiempo de inactividad.  |
|  > DEFECTOS              | Actividad que requiere re-trabajo por errores u omisiones.   |
|  > MOVIMIENTO            | Desplazamiento innecesario de personal o maquinaria durante su trabajo.  |
|  > TRANSPORTE            | Movimientos innecesarios en obra de personas, equipos o materiales desde un proceso a otro. Esto puede incluir trabajo administrativo, así como actividades físicas. |
|  > SOBRE PROCESAMIENTO | Movimientos innecesarios en obra de personas, equipos o materiales desde un proceso a otro. Esto puede incluir trabajo administrativo, así como actividades físicas. |
|  > INVENTARIO          | Cantidad de materiales que va por sobre la necesidad inmediata. Además de materiales puede incluir trabajo en proceso y productos terminados.                        |
|  > TALENTO             | Desaprovechar el potencial de las personas en la organización.   |
|  > SOBRE PRODUCCIÓN    | Ejecutar una actividad antes de que sea realmente necesaria.   |
|  > HACER POR HACER     | Improvisación por parte del personal. Es decir, la ejecución de una tarea continúa, aunque los elementos necesarios no estén disponibles.                            |

*Fuente: Centro de excelencia en gestión de la producción GEPUC*

Por otra parte “{...} Las pérdidas en la construcción pueden ser de diferentes orígenes de acuerdo a las siguientes categorías: Gestión de Administración, Gestión de Uso de Recursos y Gestión de Información.” (ALARCON, y otros, 2017)

**Figura 9.** Fuente de pérdidas.

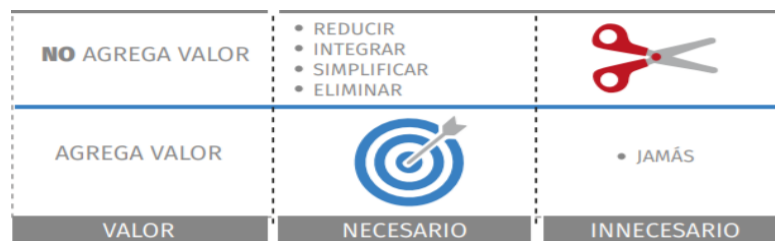


*Fuente: centro de excelencia en gestión de la producción GEPUC.*

Los tiempos utilizados y trabajos realizados en la construcción se clasifican en:

- Tiempo o Trabajo productivo (TP): Actividades que agregan valor y por las que el cliente está dispuesto a pagar. (ALARCON, y otros, 2017)
- Tiempo o Trabajo contributorio (TC): Actividades que sirven de apoyo y son necesarias, pero no agregan valor. (ALARCON, y otros, 2017)
- Tiempo o Trabajo no contributorio o no productivo (TNC): Actividades innecesarias, que tienen un costo asociado y que no agregan valor, por lo tanto, son consideradas como pérdidas. (ALARCON, y otros, 2017)

**Figura 10.** Tiempos y trabajos en la construcción.



*Fuente: centro de excelencia en gestión de la producción GEPUC.*

### 3.2.1.1. HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS LEAN

#### 3.2.1.1.1. JUST IN TIME

“{...} Surge como un nuevo enfoque en la dirección de operaciones que pretende que los clientes sean servidos justo en el momento preciso, exactamente en la cantidad requerida, con productos de máxima calidad y mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier tipo de despilfarro o coste innecesario.” (GONZALES, 2013)



### 3.2.1.1.2. “5 S”

Es un proceso establecido en cinco pasos o fases, mediante el cual para el desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. En japonés se componen por palabras cuya fonética empieza por “s” (RAJADELL, y otros, 2010)

**Figura 11. Técnica de las 5s**



Fuente: [tecnicafsf.blogspot.com](http://tecnicafsf.blogspot.com)

### 3.2.1.1.3. Prueba de los 5 minutos

Esta prueba permite la identificación de los tiempos que agregan y no agregan valor a cada una de las actividades que se ejecutan a lo largo del proceso constructivo, esto con el fin de poder determinar los tiempos que no agregan valor y de esta forma mitigarlos.

La realización de la prueba se efectúa de la siguiente manera:

- El objetivo de la prueba es tomar durante 5 minutos el tiempo dedicado por un trabajador a actividades productivas, contributivas o no contributivas (pérdidas).
- La persona que realiza la medición debe contar con un cronómetro y un formato para registrar la información.
- La toma de la medición debe realizarse de forma aleatoria. Toda la información de la prueba debe registrarse en un formato como el que muestra la Fig. 14 (Lean Construction Enterprise, 2016)

**Figura 12.** Formato para prueba de los 5 minutos

|  |                     |                                 |
|--|---------------------|---------------------------------|
| Fecha: Enero 12 de 2012  | Hora: 8:00 AM       |                                 |
| Actividad: Mampostería   | Oficio: Ayudante    |                                 |
| TIEMPO PRODUCTIVO  | 0.00 (140 segundos) | Observación: Pegando ladrillo   |
| TIEMPO CONTRIBUTIVO  | 2.20 (100 segundos) | Observación: Preparando mortero |
| TIEMPO NO CONTRIBUTIVO   | 4.00 (60 segundos)  | Observación: Conversando        |
| COMENTARIOS: En el momento de la medición estaba cayendo una ligera lluvia |                     |                                 |

Fuente: Lean Construction Enterprise, 2016.

#### **3.2.1.1.4. Value Stream Mapping “VSM”**

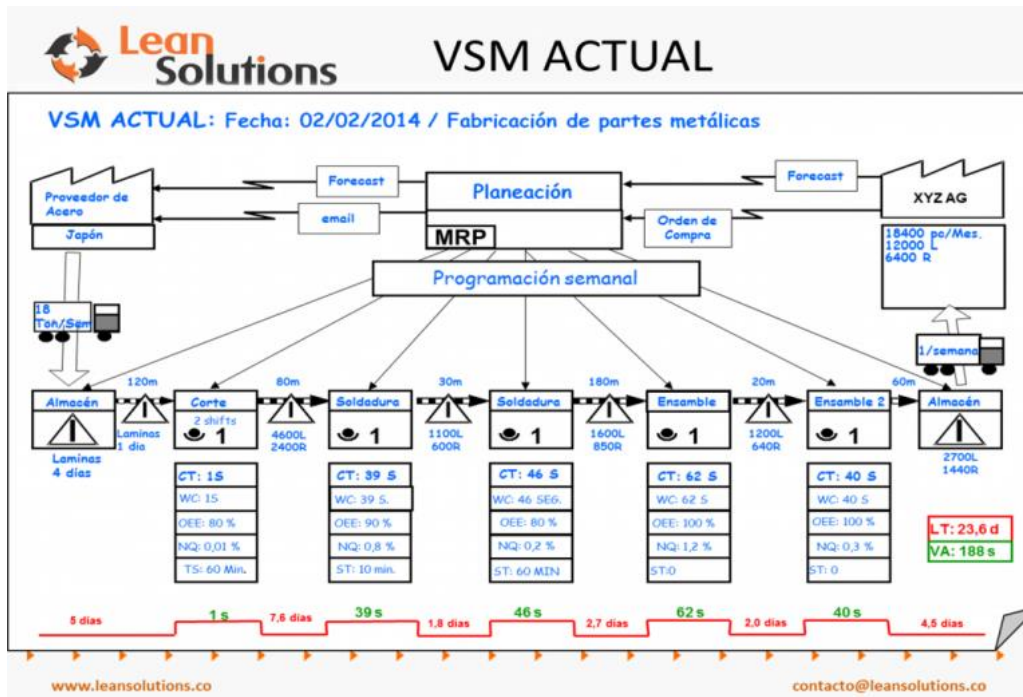
“VSM es una técnica gráfica que permite visualizar todo un proceso, permite detallar y entender completamente el flujo tanto de información como de materiales necesarios para que un producto o servicio llegue al cliente, con esta técnica se identifican las actividades que no agregan valor al proceso para posteriormente iniciar las actividades necesarias para eliminarlas.” (Lean Solutions, 2014)

De lo expuesto anteriormente se puede definir el VSM como un instrumento utilizado para la medición del valor y desperdicios de un proceso, este considera el flujo de valor como un “{...} conjunto de acciones o actividades (con mayor o menor valor añadido) normalmente necesarias para producir un producto/servicio a través de un flujo, desde el comienzo del proceso hasta su entrega al usuario.” (NOFUENTES PÉREZ, 2014).

Para la realización de Mapa de flujo de valor o VSM es necesario dividir este proceso en dos etapas:

1. Siguiendo gráficamente el servicio como fluye hacia el estado actual, identificado cada fase que permite llegar al usuario. Es un análisis totalmente objetivo y medible.
2. Representando el estado futuro de la forma en que quisiéramos que fluyera el valor; eliminando los desperdicios existentes en el estado actual.

Figura 13. Value Stream Mapping “VSM”



Fuente: Lean Solutions

### 3.2.1.1.5. KANBAN

Kanban proviene de una palabra japonesa la cual significa “tarjetas visuales” y según Laila Gilibets “{...} Es especialmente indicado para aquellas organizaciones que requieran de flexibilidad especialmente en la entrada de tareas, así como en el seguimiento de estas, la priorización, la supervisión del equipo de trabajo y los informes de dedicación.” (GILIBETS, 2013)

- **Calidad garantizada.** Todo lo que se hace debe salir bien a la primera, no hay margen de error. De aquí a que en Kanban no se premie la rapidez, sino la calidad final de las tareas realizadas. (GILIBETS, 2013)
- **Reducción del desperdicio.** Kanban se basa en hacer solamente lo justo y necesario, pero hacerlo bien, reduciendo todo aquello que es superficial o secundario (**principio YAGNI**). (GILIBETS, 2013)
- **Mejora continua.** Kanban no es simplemente un método de gestión, sino también un sistema de mejora en el desarrollo de proyectos, según los objetivos a alcanzar. (GILIBETS, 2013)
- **Flexibilidad.** Lo siguiente a realizar se decide del *backlog* (o tareas pendientes acumuladas), pudiéndose priorizar aquellas tareas entrantes según las necesidades del momento (capacidad de dar respuesta a tareas imprevistas). (GILIBETS, 2013)

**Figura 14. Técnica Kanban**

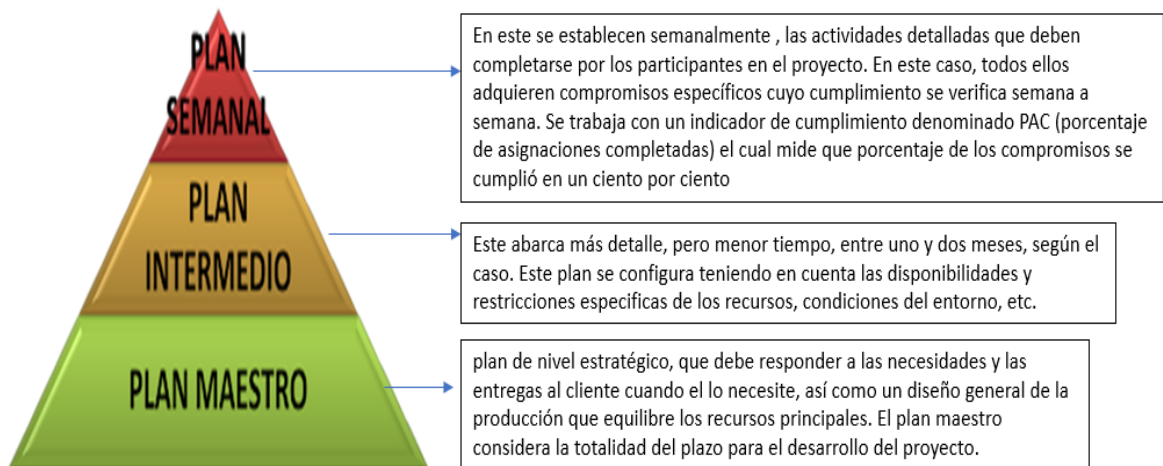


Fuente: shmula.com

**3.2.1.1.6. SISTEMA LAST PLANNER.**

Este sistema fue propuesto por Ballard y Howell (1999), ha venido siendo de las herramientas más prácticas para la mejora de la productividad por medio de la ejecución de una producción jaloneada. Es aplicada con el equipo de contratistas y proveedores y se soporta en el establecimiento de tres planes articulados ordenadamente para el desarrollo del proyecto (GARCIA, y otros, 2013).

**Figura 15. Planes del sistema Last Planner.**



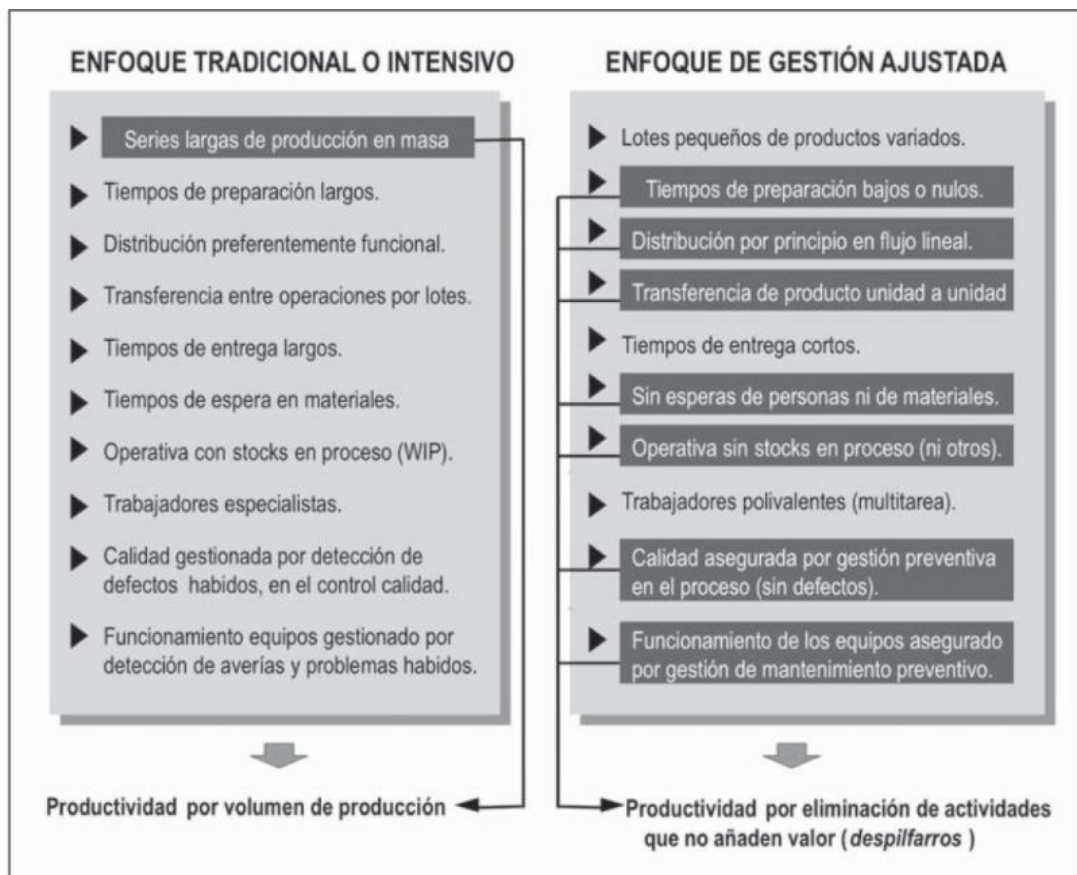
Fuente: Autor- Gerencia de proyectos: aplicación a proyectos de construcción de edificaciones

### 3.2.1.2. PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL Y EL SISTEMA LEAN

La filosofía Lean o producción ajustada en comparación de la construcción convencional, es una nueva metodología cuyo fin es la eliminación de procesos que no agregan valor al producto final, modificando ciertos aspectos de forma que “{...} la eficiencia y la competitividad, que en la filosofía tradicional de producción en masa se basa en la producción a gran escala, para la filosofía de la producción ajustada son bastantes los aspectos de gestión orientados a optimizar los resultados.” (CUATRECASAS ARBÓS, 2012)

De lo expuesto anteriormente puede entenderse que “{...} La filosofía Lean se enfoca en el proceso y no solo en los resultados, aspecto que en forma predominante ve el planteamiento tradicional. Además, en la manufactura lean los problemas se ven y solucionan donde se generan” (Conexion ESAN, 2016).

**Figura 16.** Diferencias entre el sistema de producción Tradicional y Lean.



Fuente: Lluís Cuatrecasas Arbós; *Gestión de la producción: modelos de Lean Management.*

### 3.1. MARCO JURÍDICO

Teniendo en cuenta que en Colombia a la fecha no existe una normatividad vigente que regule la utilización de la metodología LEAN CONSTRUCTION y su implementación no es de carácter obligatorio, no es posible incluir un marco jurídico para el desarrollo de esta, por otra parte, para la presente investigación se cuenta con la siguiente normatividad respecto a construcción modular:

**Tabla 2.** Marco Jurídico

|   |   |
|---|---|
| <b>AWS:</b> American Welding Society                            | Sociedad Americana de Soldadura   |
| <b>ASTM:</b> American Society for Testing and Materials         | Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales   |
| <b>ASME:</b> American Society of Mechanical Engineers           | Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos   |
| <b>ANSI:</b> American National Standards Institute              | Instituto Nacional Estadounidense de Estándares   |
| <b>OSHA:</b> Occupational Safety and Health Administration      | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional   |
| <b>PCSA:</b> Power Crane and Shovel Association                 | Asociación de grúas y palas eléctricas  |
| <b>CFR:</b> Code of Federal Regulations                         | Código de Regulaciones Federales  |
| CAMACOL BOGOTÁ Y CUNDINAMARCA:                                  | Camacol B&C ha definido como uno de sus proyectos estratégicos, el fortalecer la formación y capacitación continua de los trabajadores de la cadena de valor de la construcción, a través de iniciativas de formación complementaria, técnica y profesional. (CAMACOL, 2016)  |
| REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10) | Es el reglamento encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin que la respuesta estructural a un sismo sea favorable, la construcción modular se enfoca en el titulo F de este reglamento, en el cual son aplicables al diseño de estructuras metálicas (Asociacion colombiana de ingenieria sismica) |

Fuente: Autor

### 3.2. MARCO GEOGRÁFICO

La oficina principal de Colombia para la empresa de estudio Smart Brix Espacios Modulares S.A.S se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá en la Calle 62 #7-52, en la cual se ejecuta toda la parte administrativa y planeación de las diferentes obras que se ejecutan a nivel nacional.

**Figura 17. Ubicación de oficina Smart Brix**



Fuente: Google Maps.

Por otra parte, el proyecto de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca en la ciudad de Bogotá como se indica en la figura 18. el cual cuenta con un área de 1.775 km<sup>2</sup> y una población de 7,413 millones, el proyecto se encuentra en etapa de construcción y es un proyecto para el ministerio de defensa nacional, este proyecto será utilizado como base de estudio para el presente trabajo investigativo y en él se concentrará la mayoría de las investigaciones y análisis para la evaluación de la metodología Lean Construction (figura 19 y 20).

**Figura 18. Ubicación del Proyecto**



Fuente: Autor.

**Figura 19.** Render de proyecto del ministerio de defensa nacional



Fuente: Smart Brix.

### 3.3. MARCO DEMOGRÁFICO

La investigación a desarrollar está orientada en la empresa Smart Brix y todas aquellas empresas constructoras con énfasis en la construcción modular prefabricada, las cuales a pesar de ser una técnica constructiva innovadora deben ser complementadas con nuevas técnicas o metodologías como el Lean Construction, esto con el fin de perfeccionar y mejorar su productividad.

### 3.4. ESTADO DEL ARTE

Durante el transcurso de los años han surgido diferentes técnicas o metodologías como el Lean Construction que nos permiten cambiar nuestra visión sobre como gerenciar proyectos de construcción, esto con el fin de mejorar la eficiencia y eficacia en la ejecución de cada uno de los procesos constructivos del proyecto.

De lo anteriormente mencionado cabe resaltar que las investigaciones de la filosofía Lean en el sector de la construcción "{...}" Inician en el año 1992 por el profesor finlandés Lauri Koskela surgiendo el nombre de la metodología lean Construction y en el año 1997 es fundado el Lean Construction Institute por los profesores Glenn Ballard y Greg Howell..." (Construcción Lean)

A continuación, se presentan investigaciones y artículos relacionados con la implementación y utilización de la metodología Lean Construction y el impacto que ha generado en la sociedad.



**Tabla 3. Estado del arte**

| TÍTULO  | DESCRIPCIÓN  | REFERENCIA  |
|---|--|---|
| <p>INNOVACIÓN EDUCATIVA EN LAS ENSEÑANZAS TÉCNICAS</p>                    | <p>Investigación basada en los sistemas de fabricación inteligentes y sostenibles, con un modelo de formulación de orientación neurocientífica para la aplicación de la ingeniería Kansei-Chisei a entornos de fabricación Lean en el sector metal-mecánico, en el cual su objetivo es generar un impacto en la motivación, satisfacción, rendimiento y fiabilidad del trabajo, basados en los principios del sistema Lean. (MATA, 2015)</p> | <p>(MATA, 2015)</p>   |
| <p>WHY LEAN PROJECTS ARE SAFER</p>  | <p>Estudio basado en resaltar la seguridad que presentan los proyectos ejecutados con la metodología Lean, debido al principio del respeto por las personas, ya que estudios han demostrado que la seguridad psicológica ayuda al aprendizaje y a la mejora continua, permitiendo a los trabajadores realizar las actividades con menores reprocesos. (Why lean projects are safer, 2017)</p>  | <p>(Why lean projects are safer, 2017)</p>  |
| <p>FROM CHECKLISTS TO DESIGN PROCESS SUPPORT SYSTEMS: INITIAL FRAMING</p> | <p>Conferencia sobre las problemáticas de la entrega de proyectos de construcción, los cuales resultan en fallas de las instalaciones y por lo tanto sobrecostos, estando estos relacionados con el diseño deficiente y las prácticas de gestión de diseño. (From checklists to design process support systems: Initial framing, 2019)</p>   | <p>(From checklists to design process support systems: Initial framing, 2019)</p> |

| TÍTULO  | DESCRIPCIÓN  | REFERENCIA  |
|---|--|---|
| INTEGRATED LEAN AND BIM PROCESSES FOR MODULARISED CONSTRUCTION - A CASE STUDY | Estudio que destaca las metodologías Lean y BIM como método para ayudar al equipo a visualizar los planes de producción, controlar la producción en el campo, informar el estado de producción preciso y respaldar el proceso de mejora continua, basado en que las prácticas Lean y BIM son metodologías que ayudan a mejorar la eficiencia del ciclo de vida del proyecto y la construcción modular a lo largo del tiempo ha demostrado la mejora en las eficiencias de la fase de producción. (Integrated lean and BIM processes for modularised construction - A case study, 2019) | (Integrated lean and BIM processes for modularised construction - A case study, 2019) |
| LEAN AND BIM IMPLEMENTATION IN COLOMBIA; INTERACTIONS AND LESSONS LEARNED     | La presente investigación es un análisis que está comprendido por la integración de la metodología BIM y Lean en un proyecto residencial, en el cual permite evidenciar cómo las prácticas Lean reducen los problemas relacionados con la coordinación dentro de la construcción del proyecto y la metodología BIM maximiza los beneficios del principio Lean. (Lean and BIM implementation in Colombia; interactions and lessons learned, 2019)   | (Lean and BIM implementation in Colombia; interactions and lessons learned, 2019)     |
| FILOSOFÍA LEAN EN LA CONSTRUCCIÓN   | Proyecto de grado ejecutado en la universidad politécnica de valencia con el fin de realizar una revisión bibliográfica debido a la necesidad de un cambio en la manera de gestionar la edificación y los proyectos en España, esto con el fin de mitigar la situación de crisis actual unida a malas costumbres en el sector que han generado una situación preocupante que deriva en una baja productividad y desviaciones en la entrega y costes de un proyecto. (LATORRE, 2015)  | (LATORRE, 2015)   |

| TÍTULO   | DESCRIPCIÓN  | REFERENCIA                  |
|--|--|-----------------------------|
| IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA CONSTRUCTORA COLPROYECTOS S.A.S DE UN PROYECTO DE VIVIENDA EN EL MUNICIPIO DE VILLA DEL ROSARIO             | Proyecto de grado ejecutado en la empresa Colproyectos S.A.S implementando la filosofía Lean Construction en la construcción de un proyecto de vivienda en el municipio de Villa del Rosario con el fin de mostrar una guía para la aplicación de Lean Construction desde la concepción hasta la liquidación mirando la programación de obra y así evitar restricciones para obtener un buen rendimiento y una productividad en obra, el cual se encuentra inmerso dentro de la construcción sin pérdidas. (VILLAMIZAR, y otros, 2016) | (VILLAMIZAR, y otros, 2016) |
| IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN LA EMPRESA GRAMAR S.A.  | Proyecto de grado ejecutado en la empresa Gramar S.A implementando la metodología Lean Construction y la herramienta Last Planner con el fin de reducir los desperdicios y aumentar los índices de productividad y ganancia a través del mejoramiento continuo en las actividades de obras civiles. (CANO, y otros, 2017)  | (CANO, y otros, 2017)       |
| MODELO CONCEPTUAL PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA CONSTRUCTORA BAJO EL ENFOQUE BUILDING INFORMATION MODELING y LEAN CONSTRUCTION CASO DE ESTUDIO SOGAMOSO – BOYACÁ | Proyecto de grado ejecutado en el municipio de Sogamoso – Boyacá con la finalidad de crear una empresa bajo un modelo conceptual que permita al constructor y al cliente tener un control exhaustivo desde la planificación, ejecución y entrega del proyecto, permitiendo de esta forma minimizar costos, reducir tiempos, evitar desperdicios y contribuir al mejoramiento ambiental, utilizando las metodologías Lean construcción y BIM (Building Information Modeling). (CEPEDA, 2018)  | (CEPEDA, 2018)              |

| TÍTULO   | DESCRIPCIÓN  | REFERENCIA            |
|--|--|-----------------------|
| DISEÑO DE METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION BAJO LINEAMIENTOS GERENCIALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN LA EMPRESA ARDISEK.  | Proyecto de grado ejecutado en la empresa Ardisek con el fin de brindar un diseño metodológico que permita evaluar y disminuir las pérdidas y desperdicios en las diferentes etapas de los proyectos y así incrementar la rentabilidad en la ejecución de obras. (LUNA, y otros, 2019)   | (LUNA, y otros, 2019) |
| FORMULACIÓN UN PLAN ESTRATÉGICO BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION PARA PEQUEÑAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS; CASO EN ESTUDIO: HM INVERSIONES Y CONSTRUCCIONES S.A.S. | Proyecto de grado ejecutado en la empresa HM Inversiones y Construcciones S.A.S. de la ciudad de Ibagué (Tolima), el cual parte de un diagnóstico por medio de la herramienta de la matriz DOFA integrada con estudios que permitieron detectar las causas de las pérdidas operacionales en sus actuales obras, planteando una solución a las problemáticas que se evidencian en las pequeñas empresas constructoras, a partir de la formulación de un plan estratégico basado en la filosofía Lean Construction. (MARTÍNEZ, 2019) | (MARTÍNEZ, 2019)      |

*Fuente: Autor.*

## 4. METODOLOGÍA

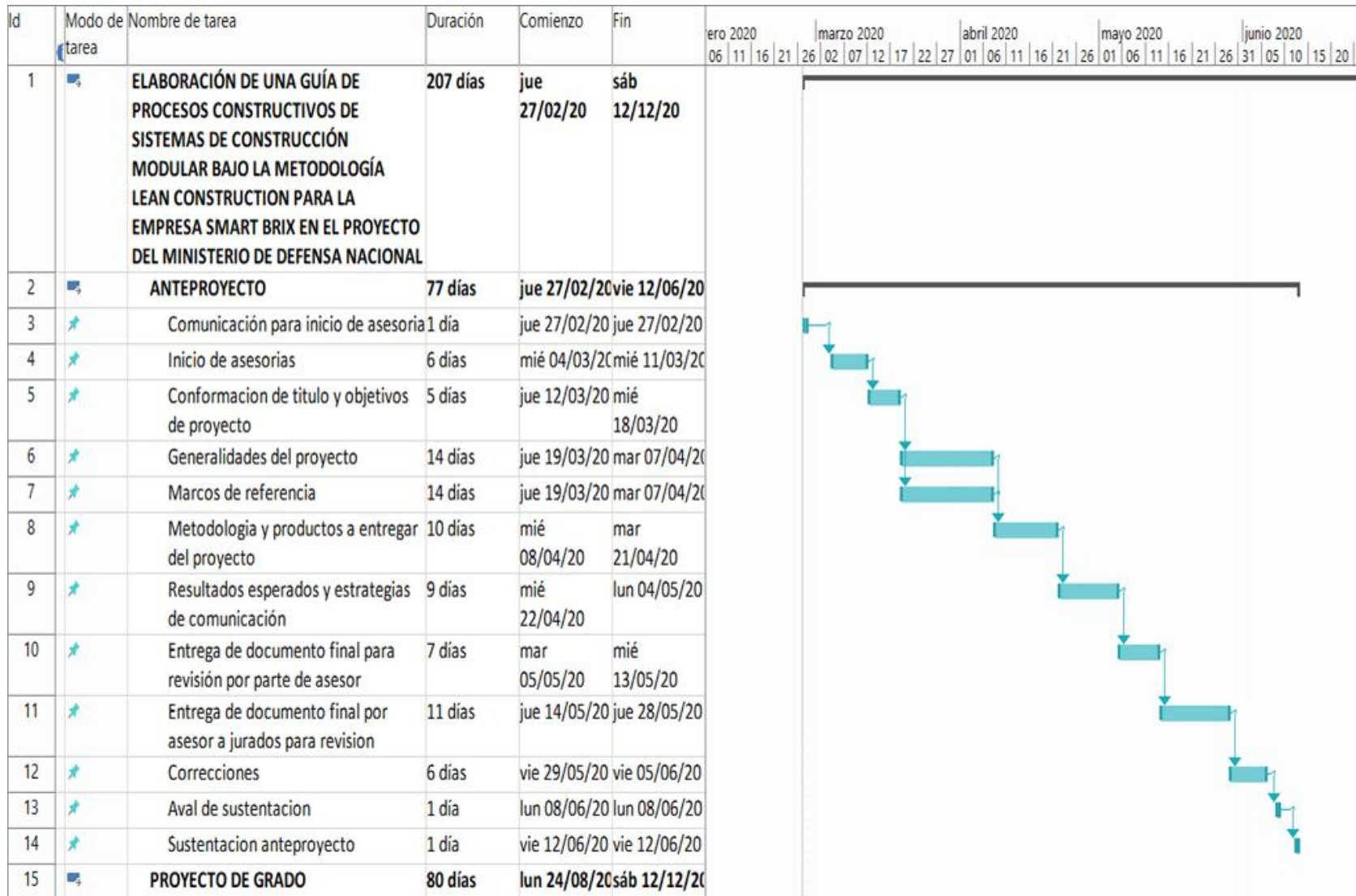
### 4.1. FASES DEL TRABAJO DE GRADO

El proyecto presenta las siguientes fases para su desarrollo:

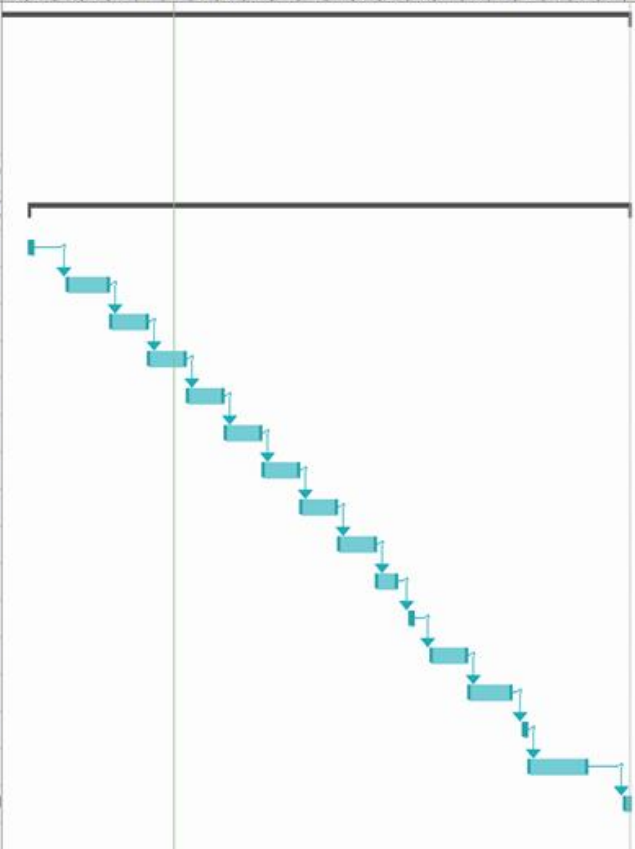
- Fase 1: Recolección y análisis de información:
  - Se realiza una revisión bibliográfica de todos los documentos, artículos y libros relacionados con la metodología Lean Construction, tomando como fuente de investigación, documentos electrónicos, libros y bases de datos de la universidad.
  - Análisis de información sobre construcción modular y como puede complementarse con la metodología Lean Construction.
- Fase 2: Verificación de la empresa para la evaluación de la metodología Lean Construction
  - Encuesta verificación del estado actual de la empresa.
  - Encuesta experiencia en construcción modular de personal operativo.
  - Revisión de información existente del proyecto del ministerio de defensa nacional.
- Fase 3: Desarrollo de la investigación:
  - Establecer las herramientas del Lean Construction a aplicar en el presente proyecto de investigación.
  - Determinar los procesos deficientes en la construcción de sistemas modulares en el proyecto del ministerio de defensa nacional, bajo los conceptos de la metodología Lean.
  - Plantear planes de mejora para la eliminación de los procesos deficientes detectados.
  - Elaboración de una guía como propuesta para futuros proyectos de construcción de sistemas modulares utilizando como base los procesos de mejora a implementar bajo los conceptos de la filosofía Lean.

Por otra parte, para el desarrollo de las actividades descritas, se planteó el siguiente cronograma que tiene una duración de 6 meses:

**Figura 20. Cronograma de trabajo de grado.**



| Id | Modo de tarea | Nombre de tarea   | Duración | Comienzo     | Fin          | septiembre 2020 |    |    |    |    |    |    | octubre 2020 |    |    |    |    |    |    | noviembre 2020 |    |    |    |    |    |    | diciembre 2020 |    |    |  |  |  |  |
|----|---------------|---|----------|--------------|--------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|--|--|--|--|
|    |               |   |          |              |              | 19              | 24 | 29 | 03 | 08 | 13 | 18 | 23           | 28 | 03 | 08 | 13 | 18 | 23 | 28             | 02 | 07 | 12 | 17 | 22 | 27 | 02             | 07 | 12 |  |  |  |  |
| 1  |               | <b>ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN MODULAR BAJO LA METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION PARA LA EMPRESA SMART BRIX EN EL PROYECTO DEL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.</b> | 207 días | jue 27/02/20 | sáb 12/12/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 2  |               | <b>ANTEPROYECTO</b>   | 77 días  | jue 27/02/20 | vie 12/06/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 15 |               | <b>PROYECTO DE GRADO</b>  | 80 días  | lun 24/08/20 | sáb 12/12/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 16 |               | Reunion inicial con asesor  | 1 día    | lun 24/08/20 | lun 24/08/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 17 |               | Revisión de anteproyecto  | 6 días   | lun 31/08/20 | lun 07/09/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 18 |               | Anteproyecto ajustado   | 5 días   | mar 08/09/20 | lun 14/09/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 19 |               | Desarrollo fase I y II  | 5 días   | mar 15/09/20 | lun 21/09/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 20 |               | Desarrollo fase II  | 5 días   | mar 22/09/20 | lun 28/09/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 21 |               | Desarrollo fase III   | 5 días   | mar 29/09/20 | lun 05/10/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 22 |               | Procesamiento de información y resultados   | 5 días   | mar 06/10/20 | lun 12/10/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 23 |               | Análisis de resultados  | 5 días   | mar 13/10/20 | lun 19/10/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 24 |               | Conclusiones  | 5 días   | mar 20/10/20 | lun 26/10/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 25 |               | Revisión conclusiones y bibliografía  | 4 días   | mar 27/10/20 | vie 30/10/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 26 |               | Entrega documento termiando a asesor  | 1 día    | lun 02/11/20 | lun 02/11/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 27 |               | Revisión y envío para revisión por los jurados  | 5 días   | vie 06/11/20 | jue 12/11/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 28 |               | Ajustes según correcciones solicitadas  | 6 días   | vie 13/11/20 | vie 20/11/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 29 |               | Entrega documento corregido   | 1 día    | lun 23/11/20 | lun 23/11/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 30 |               | Segunda revisión jurados y aval de sustentación   | 9 días   | mar 24/11/20 | vie 04/12/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 31 |               | Sustentación proyecto de grado  | 1 día    | sáb 12/12/20 | sáb 12/12/20 |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |
| 32 |               |   |          |              |              |                 |    |    |    |    |    |    |              |    |    |    |    |    |    |                |    |    |    |    |    |    |                |    |    |  |  |  |  |



Fuente: Autor

Habiendo definido el cronograma de obra, se identificaron los costos para el desarrollo del presente trabajo de investigación:

**Tabla 4.** Presupuesto anteproyecto de trabajo de grado

| PRESUPUESTO TRABAJO DE GRADO |                                       |          |      |                 |                        |
|------------------------------|---------------------------------------|----------|------|-----------------|------------------------|
| ITEM                         | DESCRIPCION                           | UNIDAD   | CANT | VALOR UNITARIO  | VALOR TOTAL            |
| <b>1</b>                     | <b>PERSONAL</b>                       |          |      |                 |                        |
| 1,1                          | Ingenieros Civiles (Dos)              | Mes      | 6    | \$ 2.400.000,00 | \$ 14.400.000,00       |
| 1,2                          | Asesor Metodologico                   | Dia      | 30   | \$ 80.000,00    | \$ 2.400.000,00        |
| <b>2</b>                     | <b>TRANSPORTE</b>                     |          |      |                 |                        |
| 2,1                          | Viajes para asesorias                 | Trayecto | 10   | \$ 10.000,00    | \$ 100.000,00          |
| 2,2                          | Reuniones para desarrollo del trabajo | Global   | 1    | \$ 100.000,00   | \$ 100.000,00          |
| 2,3                          | Visitas a obra                        | Global   | 1    | \$ 300.000,00   | \$ 300.000,00          |
| <b>3</b>                     | <b>OTROS</b>                          |          |      |                 |                        |
| 3,1                          | Equipos de computo (Dos)              | Mes      | 6    | \$ 400.000,00   | \$ 2.400.000,00        |
| 3,2                          | Internet                              | Mes      | 6    | \$ 120.000,00   | \$ 720.000,00          |
| 3,3                          | Papeleria                             | Global   | 1    | \$ 45.000,00    | \$ 45.000,00           |
| <b>TOTAL PROYECTO</b>        |                                       |          |      |                 | <b>\$20.465.000,00</b> |

*Fuente: Autor*

#### 4.2. INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- Entrevistas: realizar entrevistas bajo la autorización de la empresa, con el fin de conocer y analizar las problemáticas presentes en el proyecto del ministerio de defensa nacional.
- Estudio de antecedentes del Lean Construction: se realiza una investigación exhaustiva de los antecedentes e investigaciones realizadas sobre la metodología Lean Construction, con el fin de complementar la problemática plasmada en la presente investigación.
- Análisis y revisión de información: se recopila la información recolectada durante la investigación de la metodología Lean Construction, con el fin de determinar los factores clave a tener en cuenta durante la investigación.
- Juicio de expertos: entrevistas a profesionales con amplio conocimiento en la utilización de la metodología Lean Construction, y proyectos ejecutados con esta metodología.

#### 4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población involucrada en el proyecto será la empresa Smart Brix Espacios Modulares S.A.S, en el cual actualmente se encuentran en ejecución los proyectos ubicados en San Isidro de Chichimene Meta y Bogotá, donde se toma como caso



de estudio el proyecto construcción del ministerio de defensa nacional en la ciudad de Bogotá.

#### 4.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

##### 4.4.1. Alcance.

Esta investigación se realizará en la empresa Smart Brix, con la finalidad de evaluar la metodología Lean Construction en el proyecto del ministerio de defensa nacional, el cual se encuentra en proceso de construcción en la ciudad de Bogotá, permitiendo:

- Determinar los procedimientos ejecutados en el proyecto de estudio que generan valor en la compañía.
- Identificar las actividades que no agregan valor al producto final y con ello reducir los tiempos y costos que deben efectuarse para el desarrollo del proyecto.
- Establecer procedimientos mediante la elaboración de una guía de los procesos constructivos a ejecutar, con el fin de que esta ayude a la empresa en la optimización de recursos en futuros proyectos.

##### 4.4.2. Limitaciones.

Teniendo en cuenta que para la ejecución del presente proyecto investigativo se realizara la evaluación de la metodología Lean en el proyecto del ministerio de defensa nacional, se necesita contar con información de carácter confidencial de la empresa Smart Brix, debido a esto puede presentarse una limitación al momento de la disposición de la misma. Por lo tanto, se dará a conocer las limitaciones que pueden encontrarse en la ejecución del proyecto:

- Ingreso de personal externo a la obra para toma de información.
- Situaciones tales como estado de emergencia, social, económica y sanitaria.

## 5. PRODUCTOS A ENTREGAR

- Guía de procesos constructivos de armado y montaje de sistemas modulares para la empresa Smart Brix bajo conceptos de la metodología Lean Construction.

## 6. ENTREGA DE RESULTADOS E IMPACTOS

Inicialmente se parte por analizar los procesos deficientes que se presentan en el transcurso del ciclo de vida del proyecto del ministerio de defensa nacional, el cual fue tomado como caso de estudio para la presente investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó la búsqueda de las herramientas o metodologías que permitieran una disminución de los desperdicios ocasionados en cada una de las fases del proyecto, donde se toma como base de estudio la metodología Lean Construction, la cual permite mediante diferentes herramientas o técnicas realizar una detección temprana de las falencias del proyecto, esto con el fin de realizar un proceso de mejora continua, donde se definan las necesidades y prioridades que permitan aumentar la mayor cantidad posible de valor en la compañía.

Para la reducción de los procesos deficientes se aplican técnicas utilizadas en la metodología Lean Construction como lo son: la técnica de las "5S", prueba de los 5 minutos y la técnica del VSM (Value Stream Mapping) las cuales contribuyen a la detección de pérdidas y ayudan a mejorar el proceso constructivo de forma que su realización sea más eficiente y con una mejor productividad.

Por último, se recopila toda la información recolectada mediante las técnicas de la metodología Lean y se realiza una guía metodológica del proceso de montaje en la construcción del sistema modular prefabricado, el cual es el sistema constructivo utilizado en cada uno de los proyectos de la empresa Smart Brix, cuya finalidad es minimizar a su máxima expresión posible los desperdicios, aumentar su rendimiento constructivo y a su vez permitir que la empresa a futuro mejore su competitividad en el sector de la construcción modular prefabricada.

### 6.1. Encuestas.

Con el fin de conocer a mayor profundidad el estado actual de la empresa en cuanto a los procesos de mejora continua y la experiencia en construcción modular con la que cuenta el personal operativo, se realizan dos encuestas las cuales se muestran a continuación:

1. **Verificación del estado actual de la empresa:** para la verificación del estado actual de la empresa se elaboró el cuestionario que se evidencia en la TABLA 5, con el fin de conocer a mayor profundidad el personal administrativo y técnico con el que cuenta el proyecto del ministerio de defensa nacional, conocer sus opiniones en cuanto a los procesos gerenciales y de mejora que han podido evidenciar en su experiencia en la empresa, y ver la factibilidad de la elaboración de una guía de procesos de armado y montaje del sistema modular.

**Tabla 5. Encuesta de estado actual de la empresa Smart Brix S.A.S**

| ENCUESTA DE ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA SMART BRUX S.A.S  |
|---|
| 1) Dirección de correo electrónico  |
| 2) Cargo  |
| 3) ¿Experiencia dentro de la compañía?  |
| 4) ¿Durante su experiencia en la compañía, ha escuchado que se haya implementado alguna metodología que ayude a realizar un mejor proceso gerencial en la gestión de proyectos?   |
| 5) De haber dado si en la pregunta anterior, ¿Qué metodología se ha implementado?   |
| 6) ¿Se tiene una política de mejora continua en la empresa que ayude en el control de desperdicios en el actual proyecto para el ministerio de defensa nacional?  |
| 7) ¿Se lleva un control o inventario apropiado de herramientas en el almacén?   |
| 8) ¿La parte operativa tiene un enfoque adecuado de las actividades a realizar en cuanto al montaje de estructura?  |
| 9) ¿Se tienen planificados los posibles inconvenientes de la ejecución de montaje ?   |
| 10) ¿Se cuenta con una guía adecuada de montaje de la estructura, debido a que este proyecto en su diseño cuenta con características distintas y especiales a las manejadas en los anteriores proyectos de la compañía? |
| 11) ¿Cree usted que con elaboración de una guía de montaje de este sistema constructivo bajo la metodología Lean Construction se mejoraría el rendimiento de la obra y de futuros proyectos?                            |
| 12) De haber dado si en la pregunta anterior, ¿Qué aportes considera que esta guía brindara a la empresa Smart Brix?  |

*Fuente: Autor*

Una vez concluida la encuesta se puede evidenciar que la empresa a pesar de que cuenta con procesos establecidos para la construcción de sistemas modulares, no cuenta con un proceso de mejora continua en la empresa que permita mitigar las demoras y reprocesos que se generan a lo largo del proceso constructivo, por lo tanto se considera factible en un 100% la elaboración de una guía de procesos de montaje que permita identificar de forma más clara los procesos que se deben ejecutar con sus respectivos controles, con el fin de disminuir a su máxima expresión posible los reprocesos en la obra, permitiendo el crecimiento y mejora continua de la empresa.(VER ANEXO 1 y 2)

- 2. Experiencia en construcción modular de personal operativo:** para conocer la experiencia en construcciones bajo el sistema modular con la que cuenta el personal operativo, el cual es el encargado de la realización de cada una de las actividades que se ejecutan en el proyecto, se elaboró el cuestionario que se evidencia en la TABLA 6, con el fin de determinar las razones por las cuales se observan reprocesos en la obra y ver la factibilidad de la elaboración de una guía de procesos de armado y montaje del sistema modular.

**Tabla 6.** Encuesta de experiencia en construcción modular de personal operativo

| ENCUESTA DE EXPERIENCIA EN CONSTRUCCIÓN MODULAR DE PERSONAL OPERATIVO   |
|---|
| 1) Nombre   |
| 2) Cargo que ocupa en la empresa  |
| 3) Contaba con experiencia en construcción modular, antes de este proyecto?   |
| 4) ¿En el proyecto del ministerio de defensa nacional, se le realizo una capacitación inicial de montaje sobre el cual se les explicó específicamente todas las actividades a realizar? |
| 5) De ser si la respuesta anterior, que temas fueron abordados en la capacitación?  |
| 6) ¿Se les asigna todos los insumos o herramientas necesarios para realizar las actividades diariamente?  |
| 7) Con que frecuencia se les asigna las tareas a realizar?  |
| 8) Las tareas asignadas cuentan con las indicaciones y supervisión necesaria para evitar reprocesos en la obra?   |
| 9) Con que frecuencia se evidencian reprocesos en la obra?  |
| 10) Cree necesario contar con una Guía de los procesos constructivos del montaje de módulos prefabricados para la disminución de los reprocesos en la obra?                             |

*Fuente: Autor*

Una vez concluida la encuesta se puede evidenciar que de un total de 73 encuestados un 69,9% del personal operativo con el que cuenta la empresa, no contaba con experiencia en construcción de sistemas modulares, por lo tanto, se evidencia que el personal no cuenta con los conocimientos e indicaciones claras de los procesos a ejecutar, con el fin de evitar reprocesos en la obra que se traducen en atrasos en el proyecto, por otra parte, el personal operativo considera factible en un 100% la elaboración de una guía de procesos de montaje que permita identificar de forma más clara los procesos que se deben ejecutar con sus respectivos controles, con el fin de disminuir a su máxima expresión posible los reprocesos en la obra, permitiendo el crecimiento y mejora continua de la empresa.(VER ANEXO 3 y 4)

## 6.2. HERRAMIENTA DE LAS 5S

Para el desarrollo de la herramienta de las 5S de la metodología Lean Construction se parte por ejecutar los siguientes pasos:

### 1. Clasificar (SEIRI):

En este paso se procede a realizar una clasificación de las herramientas y materiales de la obra, esto con el fin de separar lo necesario de lo innecesario, generando espacios más cómodos y un mejor ambiente laboral.

**Tabla 7. Clasificación de herramientas y materiales.**

| HERRAMIENTA O MATERIAL                      | PROPOSITO  | FRECUENCIA DE USO | QUIEN LA UTILIZA                 | ACCION   |
|---|--|-------------------|----------------------------------|----------|
| Llave Hexagonal de 14 mm.                   | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Llave de Ajuste de 30 mm.                   | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Destornillador de pala.                     | Aseguramiento de tornilleria   | Nula              | Oficial<br>Ayudante              | Retirar  |
| Destornillador de estrella.                 | Aseguramiento de tornilleria   | Nula              | Oficial<br>Ayudante              | Retirar  |
| Llave de Ajuste de 14 mm.                   | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Llave de Ajuste de 17 mm.                   | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Martillo                                    | Apuntillar   | Nula              | Oficial<br>Ayudante              | Retirar  |
| Maseta y puntero.                           | Agrandar agujeros para posterior roscado de columnas   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Pistola de silicona.                        | Sellado de paneles y ventaneria  | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Taladro de Llave Hexagonal de 12 mm.        | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Llave de impacto.                           | Aseguramiento de tornilleria   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Pulidora eléctrica.                         | Corte de elementos metalicos   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Equipo de soldadura                         | Union de elementos metalicos   | Diaria            | Soldador                         | Mantener |
| Torquimetro con certificado de calibración. | Certificar el que el torque de cada uno de los puntos de anclaje cumpla con las especificaciones indicadas | Semanal           | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Tornilleria                                 | Aseguramiento de modulos   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Modulos                                     | Elemento de estructura   | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Paneles de fachada                          | Fachada  | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Ventaneria                                  | Fachada  | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| Escaleras tipo tijera y simple.             | Trabajo seguro en alturas  | Diaria            | Oficial<br>Ayudante              | Mantener |
| (arnés, eslingas, mosquetones, tie-off)     | Trabajo seguro en alturas  | Diaria            | Oficial<br>Maestro<br>Ingenieros | Mantener |

*Fuente: Autor*

## 2. Organizar (SEITON):

En este paso se parte por organizar los elementos que se clasificaron en la etapa anterior y por eliminar los que se encontraron innecesarios, esto con el fin de que estas herramientas y materiales sean de fácil acceso para los implicados en el desarrollo de cada una de las actividades.

**Tabla 8.** Pautas para organizar artículos necesarios.

| FRECUENCIA DE USO                    | COLOCAR   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Muchas veces al día</b>           | Colocar tan cerca como sea posible                            |
| <b>Varias veces al día</b>           | Colocar cerca del usuario                                     |
| <b>Varias veces por semana</b>       | Colocar cerca del área de trabajo                             |
| <b>Algunas veces por mes</b>         | Colocar en áreas comunes                                      |
| <b>Algunas veces al año</b>          | Colocar en almacén o en archivos                              |
| <b>No se usa, pero podría usarse</b> | Guardar etiquetado en archivo muerto o área para tales fines. |

*Fuente: Manual para la Implementación Sostenible de las 5S (p.26)*

### 3. Limpieza (SEISO):

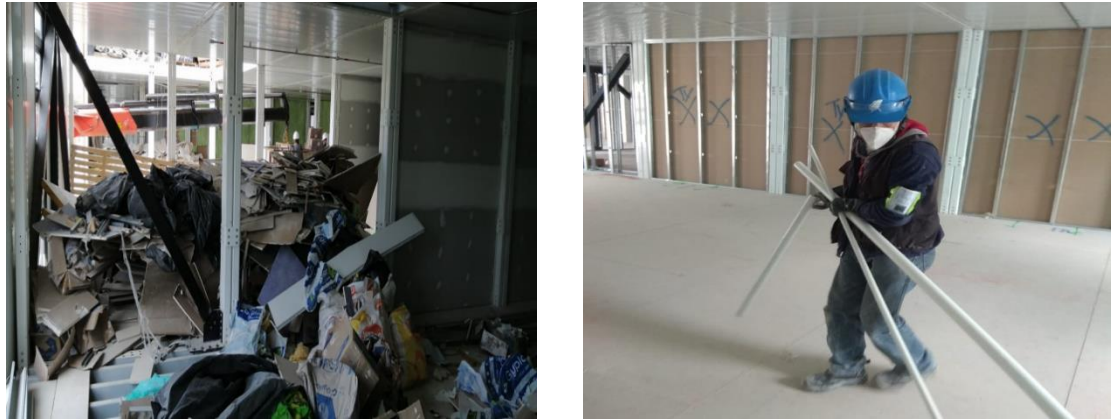
En este paso se procede a realizar una limpieza de la obra, zonas comunes, zonas de almacenaje de herramientas y materiales, con el fin de generar buenos hábitos de limpieza en la obra y un mejor ambiente laboral, para ello se parte por definir los responsables del proceso de limpieza en la obra.

**Tabla 9.** Asignación de responsabilidades de limpieza.

| DIA /EMPRESA   | LUNES                       | MARTES                      | MIÉRCOLES                   | JUEVES                      | VIERNES                       | SÁBADO                      |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| SMART BRIX     | Limpieza de almacén         |                             |                             |                             |                               |                             |
| SMART BRIX     | Limpieza de zona de trabajo | Limpieza de zona de trabajo | Limpieza de zona de trabajo | Limpieza de zona de trabajo | Limpieza de zona de trabajo   | Limpieza de zona de trabajo |
| ECOBAÑOS S.A.S |                             |                             |                             | Limpieza de baños           |                               |                             |
| GAGCO S.A.S    |                             |                             |                             |                             | Retiro de residuos de la obra |                             |

*Fuente: Autor*

**Figura 21.** Limpieza de zonas de trabajo



Fuente: Autor

**Figura 22.** Limpieza de zonas de trabajo



Fuente: Autor

**Figura 23.** Limpieza de baños.



Fuente: Autor

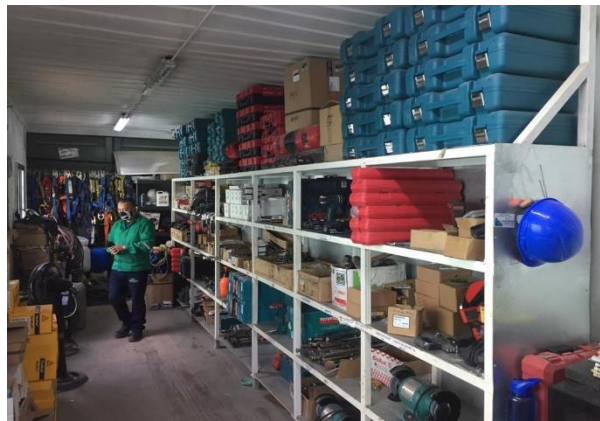


**Figura 24. Retiro de sobrantes**



Fuente: Autor

**Figura 25. Limpieza de almacén.**



Fuente: Autor

#### **4. Estandarizar (SEIKETSU):**

La finalidad de este paso es lograr una estandarización de las 3 fases mencionadas anteriormente, por lo tanto, se parte por realizar un control y monitorio con el fin de verificar y garantizar que estos se estén ejecutando de la mejor forma posible.

A continuación, se muestra los resultados del diagnóstico inicial y final realizado con el fin de llevar un monitoreo y control en las 3 primeras fases de la herramienta de las 5S, donde se asigna un valor de calificación de 0 si es muy malo y 5 si es muy bueno.

**Tabla 10. Monitoreo inicial de la herramienta de las 5S**

| MONITOREO Y CONTROL A HERRAMIENTA DE LAS 5S  |          |  |         |
|--|----------|--|---------|
| EMPRESA: SMART BRIX ESPACIOS MODULARES S.A.S |          |  |         |
| PERSONAL                                     |          | FECHA:   |         |
| Personal operativo                           |          | 20-jul-20  |         |
| ETAPA  | Nº       | CITERIO DE EVALUACION  | PUNTAJE |
| CLASIFICACION                                | 1        | Existencia de criterios de clasificacion de materiales y herramientas?             | 4       |
|  | 2        | Existencia de herramientas innecesarias en la obra?                                | 3       |
|  | 3        | Existencia de almacenaje excesivo de materiales?                                   | 2       |
|  | 4        | Control visual de espacio de trabajo?  | 4       |
|  | SUBTOTAL |  |         |
| ORDEN  | 5        | Existencia de Ubicación establecida para cada herramienta y material?              | 3       |
|  | 6        | Existencia de inventario de herramientas?  | 4       |
|  | 7        | Existencia de inventario de materiales?  | 4       |
|  | 8        | Facilidad de acceso a los materiales y herramientas?                               | 3       |
|  | SUBTOTAL |  |         |
| LIMPIEZA                                     | 9        | Existencia de zonas de trabajo limpias?  | 2       |
|  | 10       | Existencia de zonas de almacenaje de materiales y herramientas limpias?            | 3       |
|  | 11       | Existencia de jornadas de limpieza?  | 4       |
|  | 12       | Existencia del habito de limpieza?   | 2       |
|  | SUBTOTAL |  |         |
| ESTANDARIZACION                              | 13       | Existencia de auditorias de orden y limpieza de obra ?                             | 4       |
|  | 14       | Se promueve el uso de los controles visuales y establecer mejoras?                 | 4       |
|  | 15       | Se ha implementado alguna idea de mejora en las zonas de trabajo?                  | 3       |
|  | 16       | Aplicación de las 3 primeras S de la herramienta de las 5S de la metodología Lean? | 1       |
|  | SUBTOTAL |  |         |
| DISCIPLINA                                   | 17       | Existencia de normas o reglamentos de orden y limpieza ?                           | 3       |
|  | 18       | Se lleva un control adecuado del inventario de herramientas?                       | 2       |
|  | 19       | Se lleva un control adecuado del inventario de materiales?                         | 3       |
|  | 20       | Existencia de autodisciplina en el personal?                                       | 2       |
|  | SUBTOTAL |  |         |

Fuente: Autor.

**Tabla 11. Resultado inicial de la herramienta de las 5S**

| ETAPA           | PUNTAJE | MAXIMO | %   |
|-----------------|---------|--------|-----|
| CLASIFICACIÓN   | 13      | 20     | 65% |
| ORDEN           | 14      | 20     | 70% |
| LIMPIEZA        | 11      | 20     | 55% |
| ESTANDARIZACIÓN | 12      | 20     | 60% |
| DISCIPLINA      | 10      | 20     | 50% |
| TOTAL           | 60      | 100    | 60% |

Fuente: Autor

**Tabla 12. Monitoreo final de la herramienta de las 5S**

| <b>MONITOREO Y CONTROL A HERRAMIENTA DE LAS 5S</b> |           |  |                         |
|--|-----------|--|-------------------------|
| <b>EMPRESA:</b>                                    |           | SMART BRIX ESPACIOS MODULARES S.A.S  |                         |
| <b>PERSONAL</b>                                    |           | Personal opetarivo   | <b>FECHA:</b> 09-oct-20 |
| <b>ETAPA</b>                                       | <b>N°</b> | <b>CITERIO DE EVALUACION</b>   | <b>PUNTAJE</b>          |
| <b>CLASIFICACION</b>                               | 1         | Existencia de criterios de clasificacion de materiales y herramientas?             | 4                       |
|  | 2         | Existencia de herramientas innecesarias en la obra?                                | 4                       |
|  | 3         | Existencia de almacenaje excesivo de materiales?                                   | 4                       |
|  | 4         | Control visual de espacio de trabajo?  | 5                       |
|  | SUBTOTAL  |  |                         |
| <b>ORDEN</b>                                       | 5         | Existencia de Ubicación establecida para cada herramienta y material?              | 4                       |
|  | 6         | Existencia de inventario de herramientas?  | 4                       |
|  | 7         | Existencia de inventario de materiales?  | 4                       |
|  | 8         | Facilidad de acceso a los materiales y herramientas?                               | 4                       |
|  | SUBTOTAL  |  |                         |
| <b>LIMPIEZA</b>                                    | 9         | Existencia de zonas de trabajo limpias?  | 4                       |
|  | 10        | Existencia de zonas de almacenaje de materiales y herramientas limpias?            | 4                       |
|  | 11        | Existencia de jornadas de limpieza?  | 4                       |
|  | 12        | Existencia del habito de limpieza?   | 3                       |
|  | SUBTOTAL  |  |                         |
| <b>ESTANDARIZACION</b>                             | 13        | Existencia de auditorias de orden y limpieza de obra ?                             | 4                       |
|  | 14        | Se promueve el uso de los controles visuales y establecer mejoras?                 | 4                       |
|  | 15        | Se ha implementado alguna idea de mejora en las zonas de trabajo?                  | 4                       |
|  | 16        | Aplicación de las 3 primeras S de la herramienta de las 5S de la metodología Lean? | 4                       |
|  | SUBTOTAL  |  |                         |
| <b>DISCIPLINA</b>                                  | 17        | Existencia de normas o reglamentos de orden y limpieza ?                           | 4                       |
|  | 18        | Se lleva un control adecuado del inventario de herramientas?                       | 3                       |
|  | 19        | Se lleva un control adecuado del inventario de materiales?                         | 4                       |
|  | 20        | Existencia de autodisciplina en el personal?                                       | 3                       |
|  | SUBTOTAL  |  |                         |

Fuente: Autor

**Tabla 13. Resultado final de la herramienta de las 5S**

| <b>ETAPA</b>           | <b>PUNTAJE</b> | <b>MAXIMO</b> | <b>%</b> |
|------------------------|----------------|---------------|----------|
| <b>CLASIFICACIÓN</b>   | 17             | 20            | 85%      |
| <b>ORDEN</b>           | 16             | 20            | 80%      |
| <b>LIMPIEZA</b>        | 15             | 20            | 75%      |
| <b>ESTANDARIZACIÓN</b> | 16             | 20            | 80%      |
| <b>DISCIPLINA</b>      | 14             | 20            | 70%      |
| <b>TOTAL</b>           | 78             | 100           | 78%      |

Fuente: Autor

Comparando los resultados obtenidos en el monitoreo inicial (tabla 10) cuya finalidad fue determinar las condiciones previas a la implementación de la herramienta de las 5S con relación al monitoreo final (tabla 12) cuando ya se habían aplicado los conceptos de esta herramienta, se puede observar un incremento en la efectividad de los procedimientos de clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina de 60% a 78%, es decir, se presenta un aumento del 18% que aunque evidencia una mejoría e implementación exitosa, se puede seguir mejorando con el uso de estas buenas prácticas.

### **5. Disciplina (SHITSUKE):**

En este último paso se pretende generar el hábito de compromiso en la realización de las etapas o pasos anteriormente descritos, esto con la finalidad de que cada uno de los involucrados en el proceso constructivo sienta como propio el proyecto, permitiendo seguir obteniendo los beneficios que proporciona la herramienta de las 5S; para ello se realizaron capacitaciones al personal, donde se aborda la siguiente temática:

- Respetar normas de higiene y aseo continuo de la obra.
- Dejar en buenas condiciones de limpieza la obra, una vez se termine la jornada laboral
- Depositar cada herramienta utilizada en la jornada laboral en el sitio indicado por la organización.
- Utilizar solo los materiales necesarios en la jornada, para evitar acumulaciones de los mismos en la obra.
- Penalidades al personal por incumplimiento de las normas establecidas

**Figura 26.** Capacitación de implementación de la disciplina (SHITSUKE).




Fuente: Autor

### 6.3. DETERMINACION DE PERDIDAS

Luego de ser planteada la prueba de los 5 minutos como una herramienta para la medición de tiempos de la metodología Lean Construction, se realizó un formato para el cálculo de pérdidas de tiempo en algunas de las actividades realizadas durante el montaje de módulos.

**Figura 27.** Formato para el cálculo de perdidas.

|   |   |             |                     |
|---|---|-------------|---------------------|
|  | REGISTRO DE MEDICION DE ACTIVIDADES   |             | Version 1           |
|   |   |             | Emisión: 03/07/2020 |
| PROYECTO  | DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, SUMINISTRO, INSTALACION, DOTACION Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE EDIFICACIONES MODULARES AUTOPORTANTES PREFABRICADAS Y REUBICABLES, PARA EL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL EN BOGOTÁ D.C |             |                     |
| CONTRATO No.  | LLAVE EN MANO 14/2019   |             |                     |
| <b>FORMATO PARA PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS</b>                                       |   |             |                     |
| Fecha:  |   | Hora:       |                     |
| Actividad :   |   | Oficio:     |                     |
| <b>TIEMPO PRODUCTIVO</b>  |   | Observacion |                     |
| <b>TIEMPO CONTRIBUTIVO</b>  |   | Observacion |                     |
| <b>TIEMPO NO CONTRIBUTIVO</b>   |   | Observacion |                     |
| COMENTARIOS:  |   |             |                     |

Fuente: Autor

Una vez realizado el formato para la medición de estos tiempos, se prosiguió a ejecutar las respectivas mediciones y el seguimiento se realizó durante 1 mes para medir los tiempos productivos, contributivos, y no contributivos, con el fin de tener un control y realizar mejoras en cada una de las actividades planteadas a continuación:

#### 6.3.1. Armado de módulos.

A continuación, se evidencia de manera general y resumida el estado de los tiempos en el proceso de armado de la estructura modular. Sobre esta actividad se tomaron los siguientes tiempos como referencia:

- Tiempo productivo: Instalación y torque de tornillería
- Tiempo contributivo: búsqueda de herramientas y equipos para realizar la actividad

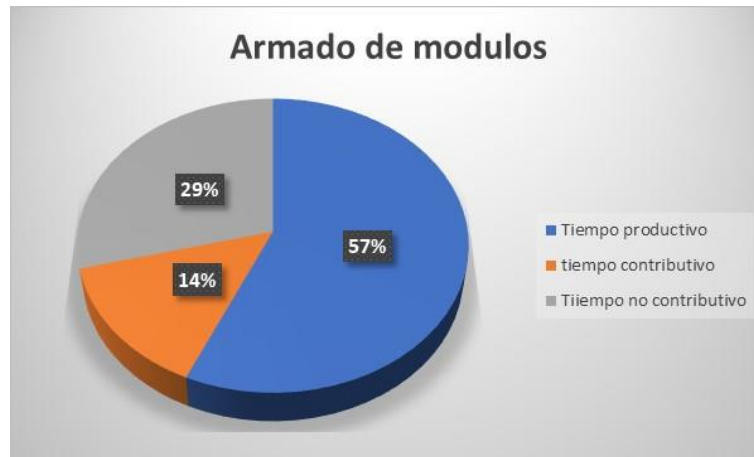
- Tiempo no contributivo: Charla con compañeros de trabajo

**Figura 28.** Armado de módulos.



*Fuente: Autor*

**Figura 29.** Gráfico de tiempos de Armado de módulos.



*Fuente: Autor*

### 6.3.2. Aseguramiento de adosamiento.

A continuación, se evidencia de manera general y resumida el estado de los tiempos en el proceso de aseguramiento de adosamiento a la estructura modular. Sobre esta actividad se tomaron los siguientes tiempos como referencia:

- Tiempo productivo: la instalación de platinas de adosamiento y torque de tornillería

- Tiempo contributivo: la búsqueda de herramientas y equipos para realizar la actividad.
- Tiempo no contributivo: Charla con compañeros de trabajo

**Figura 30.** Aseguramiento de adosamiento.



*Fuente: Autor*

**Figura 31.** Gráfico de tiempos de Aseguramiento de adosamiento.



*Fuente: Autor*

### 6.3.3. Aseguramiento de apilamiento.

A continuación, se evidencia de manera general y resumida el estado de los tiempos en el proceso de aseguramiento de apilamiento a la estructura modular. Sobre esta actividad se tomaron los siguientes tiempos como referencia:

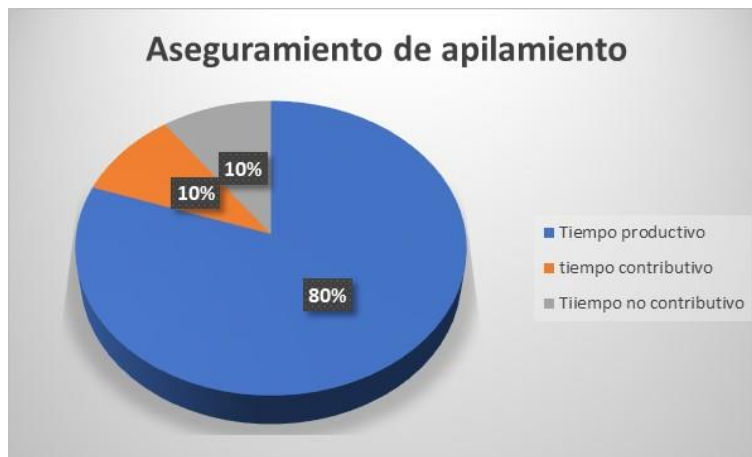
- Tiempo productivo: la instalación de platinas de apilamiento y torque de tornillería
- Tiempo contributivo: la búsqueda de herramientas y equipos para realizar la actividad
- Tiempo no contributivo: Charla con compañeros de trabajo

**Figura 32.** Aseguramiento de apilamiento.



*Fuente: Autor*

**Figura 33.** Gráfico de tiempos de Aseguramiento de apilamiento.



*Fuente: Autor*

#### 6.3.4. Aseguramiento de arriostramiento.

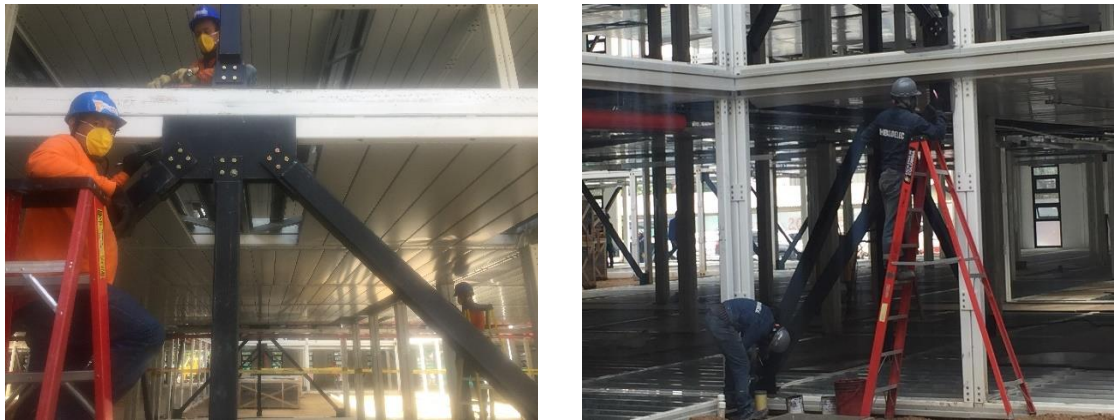
A continuación, se evidencia de manera general y resumida el estado de los tiempos en el proceso de aseguramiento de arriostramiento a la estructura modular. Sobre



esta actividad se tomaron los siguientes tiempos como referencia:

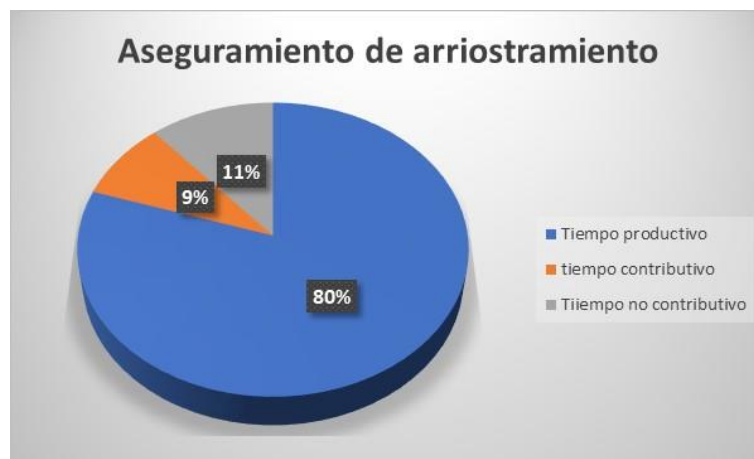
- Tiempo productivo: la instalación de vigas de arriostramiento y torque de tornillería
- Tiempo contributivo: la búsqueda de herramientas y equipos para realizar la actividad
- Tiempo no contributivo: Charla con compañeros de trabajo

**Figura 34. Aseguramiento de Arriostramiento.**



*Fuente: Autor*

**Figura 35. Gráfico de tiempos de Aseguramiento de arriostramiento.**



*Fuente: Autor*

### 6.3.5. Instalación de fibrocemento.

A continuación, se evidencia de manera general y resumida el estado de los tiempos en el proceso de instalación de fibrocemento para piso. Sobre esta actividad se tomaron los siguientes tiempos como referencia:

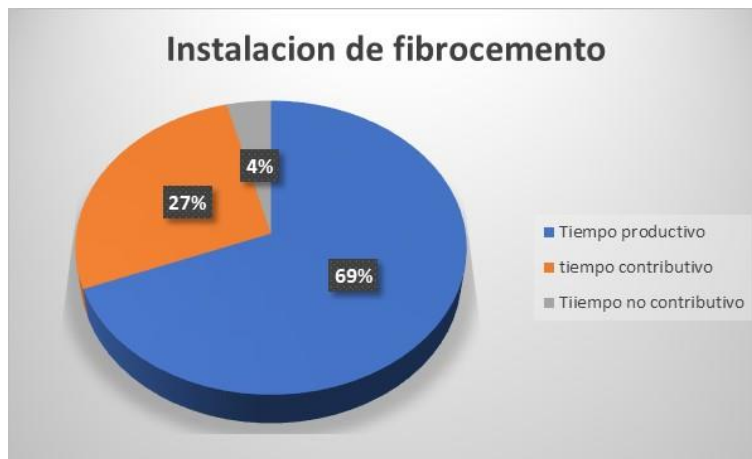
- Tiempo productivo: la instalación de lámina y aseguramiento a través de tornillería.
- Tiempo contributivo: corte de láminas, la búsqueda de herramientas y equipos para realizar la actividad.
- Tiempo no contributivo: Charla con compañeros de trabajo

**Figura 36.** Instalación de Fibrocemento.



*Fuente: Autor*

**Figura 37.** Gráfico de tiempos de Instalación de fibrocemento.



*Fuente: Autor*

Luego de haber realizado la evaluación en cuanto a los rendimientos de cada actividad, se realizó un análisis detallado del total de pérdidas en cada actividad, el cual arrojó las razones por las cuales no se reflejaba un mayor tiempo productivo, las cuales fueron las siguientes:

- El personal no contaba con la herramienta necesaria en su lugar de trabajo.
- Las conversaciones que realizaban entre compañeros de trabajo, ya que se evidencio que charlaban bastante y mientras lo hacían no realizaban ninguna actividad.

Con el fin de mejorar el rendimiento se realizaron charlas y capacitaciones a personal para concientizar a este, en el buen manejo y acomodación de herramientas en su lugar de trabajo, mejor manejo del tiempo de trabajo debido a las charlas innecesarias durante su tiempo laboral.

Adicionalmente a esto se monitoreaba y controlaba cada actividad para un mayor control del personal encargado en realizar cada actividad.

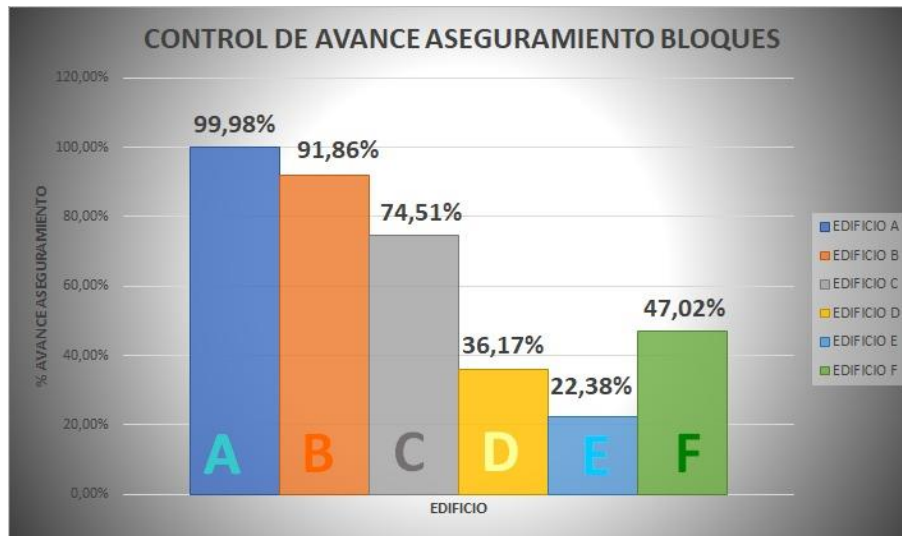
**Figura 38.** Charla sobre el manejo del tiempo en obra.



*Fuente: Autor*

Por otra parte, cabe resaltar que el día 1-sep-2020 se realizó un análisis inicial con el fin de determinar el porcentaje de avance que se llevaba de aseguramiento de los módulos, donde se obtienen los valores que pueden evidenciarse en la FIGURA 39, la cual se muestra a continuación.

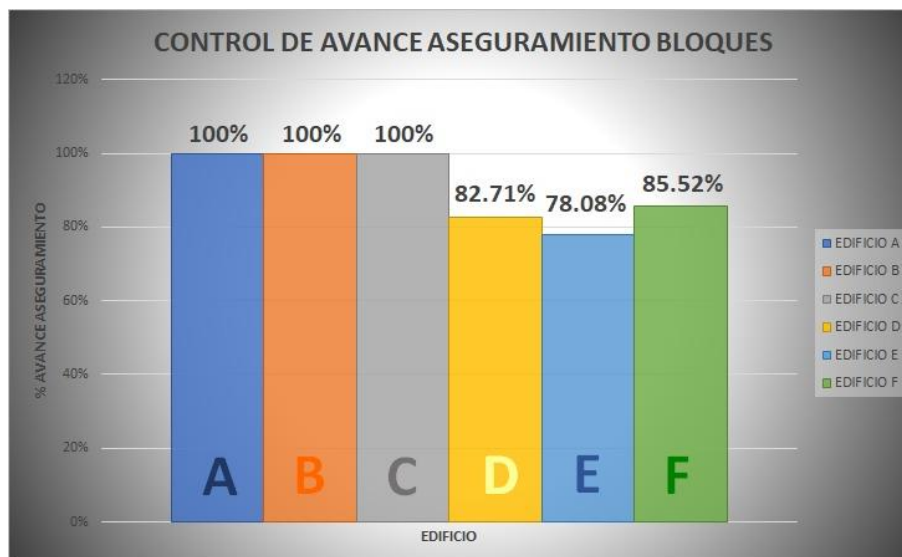
**Figura 39.** Control de avance de aseguramiento de bloques inicial.



*Fuente: Autor*

Una vez obtenido los porcentajes de aseguramiento de los módulos, y analizado los datos obtenidos mediante la prueba de los 5 minutos realizados en los días posteriores al análisis inicial, se reflejaron mejores rendimientos en cuanto al aseguramiento, gracias a charlas de concientización al personal operativo sobre los tiempos que ejecutaban que no agregaban valor al producto final, minimizando el atraso de estas actividades tal como puede evidenciarse en la FIGURA 40, la cual se muestra a continuación.

**Figura 40.** Control de avance de aseguramiento de bloques final.



*Fuente: Autor*

#### 6.4. Mapa de flujo de valor.

Una vez planteada la herramienta del VSM (VALUE STREAM MAPPING) para la identificación del del flujo de valor de procesos en la construcción de sistemas modulares prefabricados, se procede a elaborar los siguientes pasos o etapas.

**Figura 41.** Etapas para diseñar un Mapa de flujo de valor.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=v2QRZ3-M4JQ>

#### 1. Determinar la familia de productos/servicios.

Inicialmente, antes de realizar el dibujo del estado actual del proceso constructivo de la empresa, se parte por definir sobre cual producto o proceso debe realizarse el VSM, por lo tanto, se parte por elaborar un diagrama de Pareto con el fin de identificar el proceso que presenta mayores deficiencias y sobre el cual se dibujara el VSM actual, para posteriormente realizar los ajustes a su flujo de valor.

**Tabla 14.** Frecuencia de procesos deficientes en Construcción modular

| DESCRIPCIÓN PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN MODULAR      | CODIGO | FRECUENCIA DE PROCESOS DEFICIENTES | %           | ACUMULADO | % ACUMULADO |
|---|--------|------------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| ARMADO DE MÓDULOS                                 | A      | 100                                | 51%         | 100       | 51%         |
| IZAJE Y INSTALACIÓN DE MÓDULOS DE PRIMER NIVEL    | B      | 70                                 | 36%         | 170       | 87%         |
| IZAJE Y INSTALACION DE MÓDULOS NIVELES SUPERIORES | C      | 10                                 | 5%          | 180       | 92%         |
| CUBIERTA  | D      | 10                                 | 5%          | 190       | 97%         |
| FACHADA   | E      | 5                                  | 3%          | 195       | 100%        |
| <b>TOTAL</b>                                      |        | <b>195</b>                         | <b>100%</b> |           |             |

Fuente: Autor

**Figura 42.** Gráfico de Pareto de procesos deficientes en Construcción modular



*Fuente: Autor*

Una vez identificado el proceso sobre el cual se realizará el VSM, se desglosan sus procesos internos los cuales permiten su desarrollo.

**Tabla 15.** Procesos de armado de módulos

| DESCRIPCIÓN                               | SÍMBOLO |
|---|---------|
| TRASIEGO DE BASES A SITIO DE TRABAJO      | A       |
| PERFORACION DE MÓDULOS                    | B       |
| RECTIFICADO DE ROSCAS                     | C       |
| INSTALACIÓN DE COLUMNAS                   | D       |
| IZAJE Y POSICIONAMIENTO DE BASTIDOR TECHO | E       |
| ROSCADO DE HUECOS DE COLUMNAS             | F       |
| SOLDADURA DE PERNOS EN BASTIDOR TECHO     | G       |
| ASEGURAMIENTO DE MÓDULOS                  | H       |

*Fuente: Autor*

2. Calcular las métricas del proceso.

Una vez identificado el proceso de “Armado de módulos” como el proceso que presenta mayores deficiencias en la construcción de sistemas modulares, se parte por calcular las métricas o criterios de evaluación necesarios para poder dibujar el VSM actual del proceso.

Para el cálculo de las métricas y criterios de evaluación es necesario tener claro conceptos como:

- **Cycle Time:** tiempo que gasto en producir una unidad de producto en la realidad.

$$TC = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Unidades a producir.}}$$

- **Demanda diaria:** unidades necesarias para cumplir las necesidades.

$$DD = \frac{\text{Demanda mensual}}{\text{Días hábiles}}$$

- **Lead time:** tiempo estimado por inventario.

$$LT = \frac{\text{Inventario}}{\text{Demanda diaria}}$$

- **Tiempo de valor añadido:** tiempo empleado que agrega valor al producto.

$$TVA = \sum (\text{Cycle time})$$

- **Tiempo de valor no añadido:** tiempo empleado que no agrega valor al producto.

$$TNVA = \sum (\text{Lead time}).$$

- **Tiempo total:** tiempo empleado para la elaboración del producto.

$$TT = TVA + TNVA$$

- **Tack time:** tiempo que gasto en producir una unidad de producto teóricamente.

$$TKT = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Unidades demandas.}}$$

- **Touch time:** Porcentaje de tiempo empleado que agrega valor al producto.

$$TOU = TVA/TT$$

**Tabla 16. Cálculo de métricas del proceso**

| DESCRIPCIÓN       | SÍMBOLO | UND       | A     | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     |
|-------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Jornada laboral   | JL      | Und       | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Tiempo inefectivo | TI      | H/Turno   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Numero de turnos  | NT      | H/Turno   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Tiempo Disponible | TD      | Seg/dia   | 30600 | 30600 | 30600 | 30600 | 30600 | 30600 | 30600 | 30600 |
| Produccion bruta  | PB      | Und/Turno | 30    | 120   | 24    | 24    | 30    | 24    | 120   | 4     |
| N° de maquinas    | NM      | Und       | 2     | 0     | 2     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     |
| N° de cuadrillas  | NC      | Und       | 2     | 2     | 10    | 10    | 2     | 10    | 2     | 15    |
| Produccion real   | PR      | Und/Turno | 60    | 240   | 240   | 240   | 60    | 240   | 240   | 60    |
| Tiempo de ciclo   | TC      | Seg/Und   | 510   | 127,5 | 127,5 | 127,5 | 510   | 127,5 | 127,5 | 510   |

*Fuente: Autor*

**Tabla 17. Cálculo de demanda**

| DESCRIPCIÓN        | SÍMBOLO | UND      | A     | B      | C      | D      | E     | F      | G      | H     |
|--------------------|---------|----------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Demanda mensual    | DM      | Und/mes  | 2080  | 8320   | 8320   | 8320   | 2080  | 8320   | 8320   | 2080  |
| Dias habiles x mes | DH      | Dias/mes | 26    | 26     | 26     | 26     | 26    | 26     | 26     | 26    |
| Demanda diaria     | DD      | Und/dia  | 80,00 | 320,00 | 320,00 | 320,00 | 80,00 | 320,00 | 320,00 | 80,00 |

*Fuente: Autor*

**Tabla 18. Cálculo de Lead Time**

| DESCRIPCIÓN | SÍMBOLO | UND  | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   |
|-------------|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Inventario  | INV     | Und  | 120 | 480 | 480 | 480 | 120 | 480 | 480 | 120 |
| Lead Time   | LTI     | Dias | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

*Fuente: Autor*

**Tabla 19. Cálculo de valor agregado**

| DESCRIPCIÓN                | SÍMBOLO | UND | VALOR   |
|----------------------------|---------|-----|---------|
| Tiempo de valor añadido    | TVA     | Min | 36,13   |
| Tiempo de valor no añadido | TNVA    | Min | 6120    |
| Tiempo total               | TT      | Min | 6156,13 |
| Touch Time                 | TOU     | %   | 0,59%   |

*Fuente: Autor*



**Tabla 20. Cálculo de Takt Time**

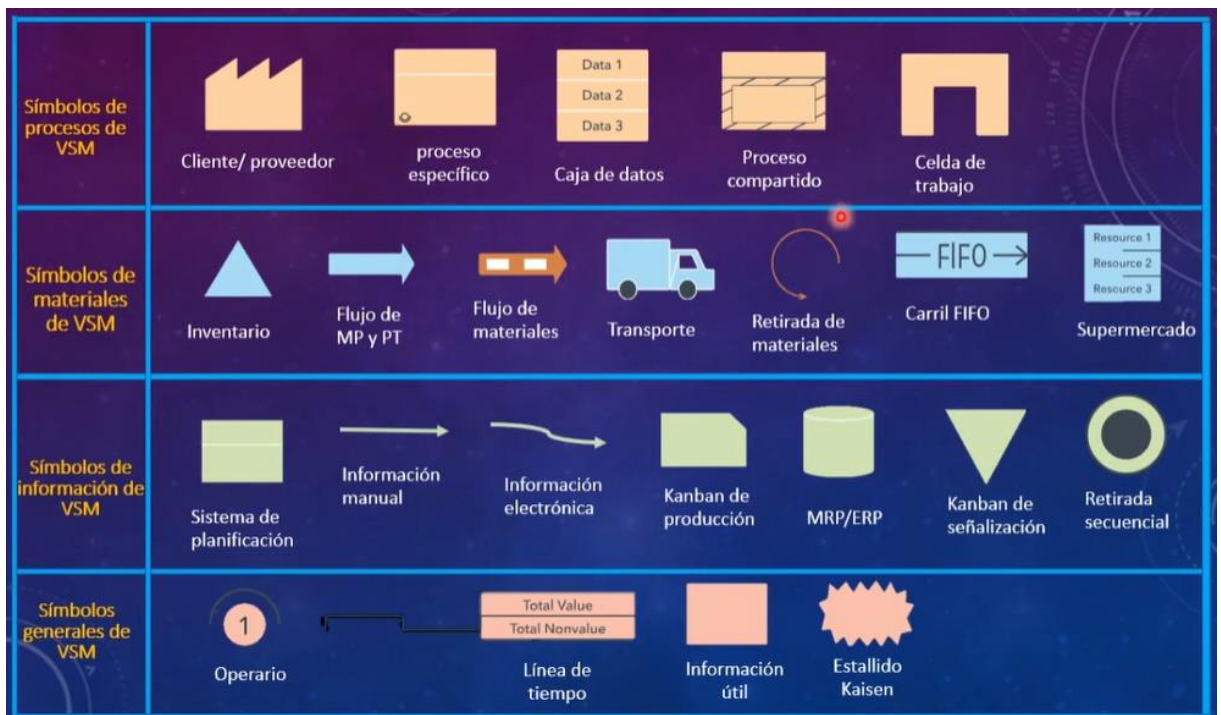
| DESCRIPCIÓN | SIMBOLO | UND     | A     | B      | C      | D      | E     | F      | G      | H     |
|-------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Takt Time   | TKT     | Seg/Und | 382.5 | 95.625 | 95.625 | 95.625 | 382.5 | 95.625 | 95.625 | 382.5 |

Fuente: Autor

3. Realizar el VSM del estado actual.

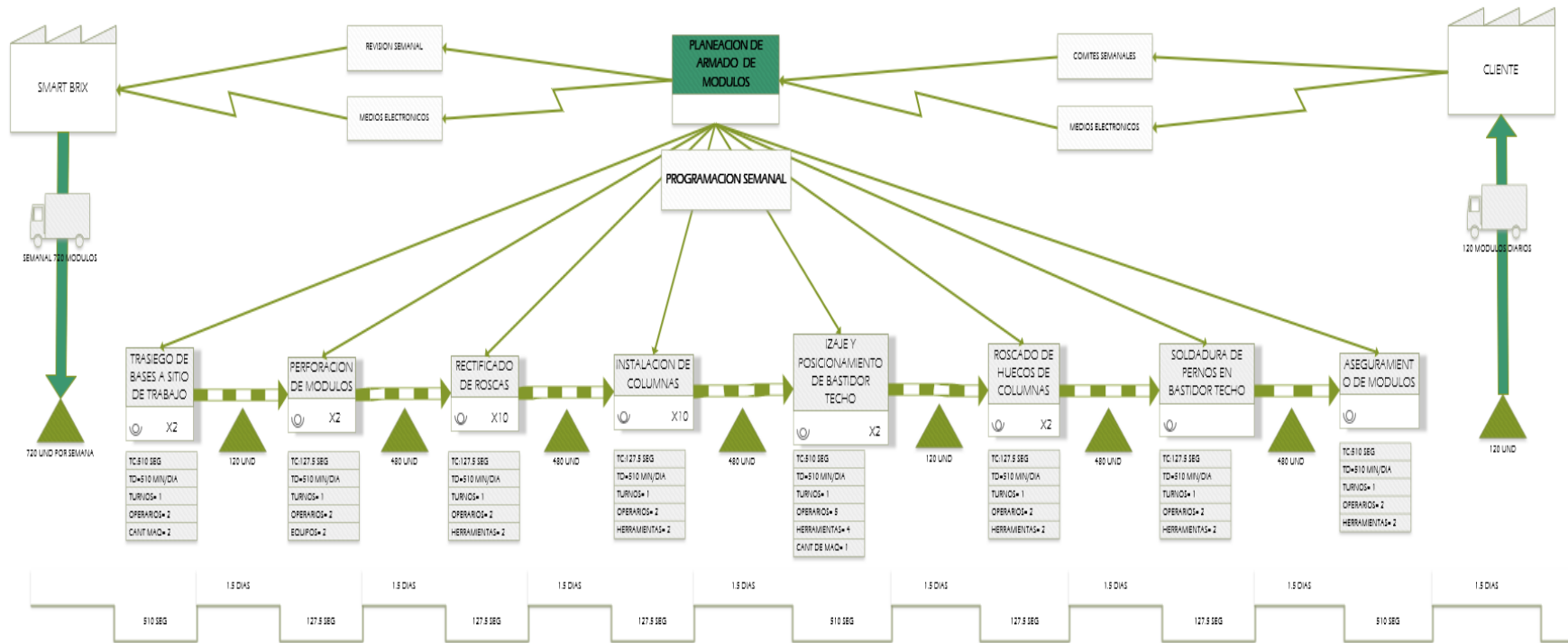
Para la realización del VSM (VALUE STREAM MAPPING) del proceso de armado de módulos, es necesario tener claridad de la simbología a utilizar en el mapa de flujo del valor del proceso, por lo tanto, a continuación, se muestra esta simbología para su fácil identificación y utilización.

**Figura 43. Simbología del VSM**



Fuente: Autor

**Figura 44.** Mapa del flujo de valor (VSM) del estado actual del proceso de armado de módulos



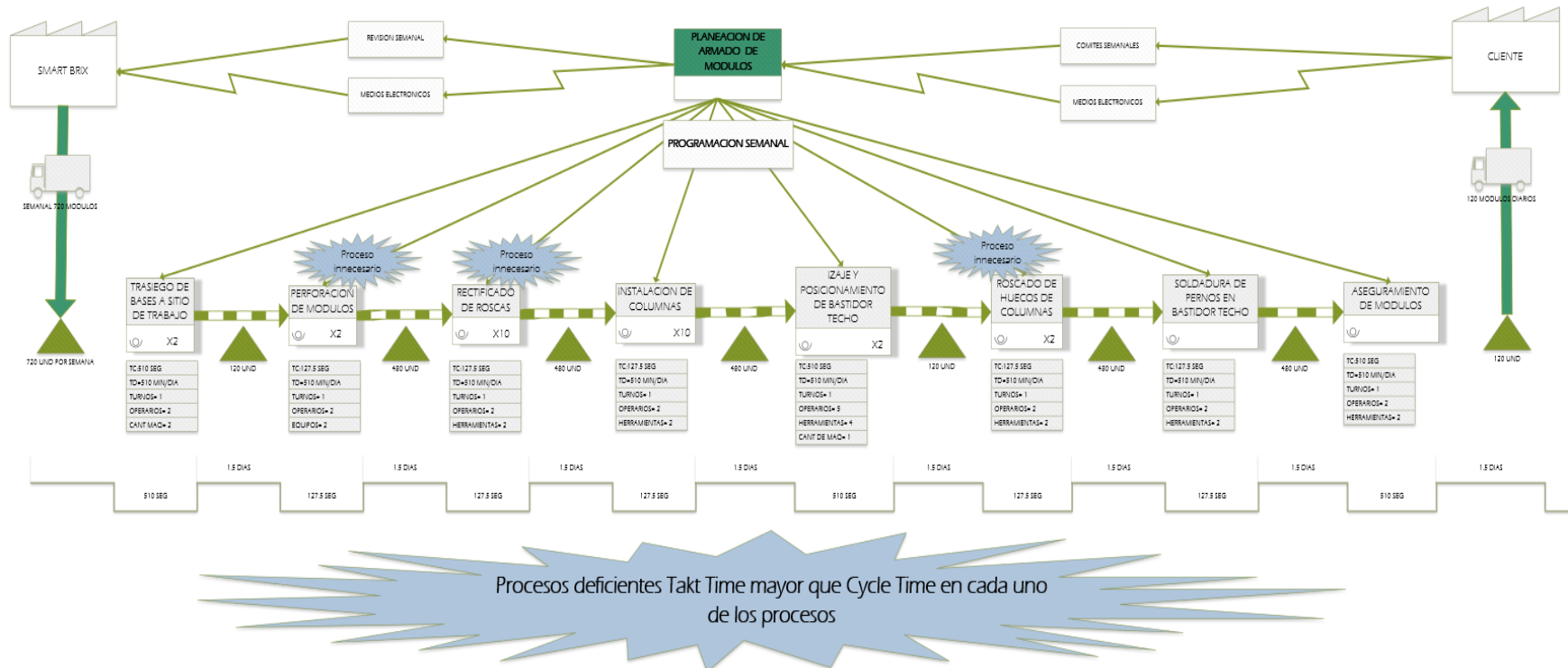
Fuente: Autor

Una vez realizado el mapa de flujo de valor del estado actual del proceso, se puede identificar que se presentan procesos deficientes en toda su ejecución debido a que los tiempos de ciclo, los cuales indican la producción real que se realiza en el proceso, son mayores que los tiempos de Takt Time, los cuales son los tiempos deseados para el proceso de construcción.

#### 4. Establecer el VSM del estado futuro

Una vez terminado el mapa del flujo de valor del estado actual del proceso de armado de módulos, se parte por definir cuales son los procesos internos que deben mejorarse con el fin de hacer que el mapa del flujo de valor (VSM) pueda realizarse de la forma mas eficiente, para generar la mayor cantidad posible de valor en la empresa, por lo tanto, se definen a continuación los procesos deficientes a mejorar para el armado de módulos en el VSM futuro.

**Figura 45.** Mapa del flujo de valor (VSM) del estado futuro del proceso de armado de módulos



Fuente: Autor

### 5. Definir e implantar planes de acción.

Una vez determinado el mapa del flujo del valor del estado futuro del proceso de armado de módulos, se identifican cuáles son los procesos que presentan demoras en su ejecución y cuáles son los procesos que deben ser eliminados, con el fin de disminuir todas las deficiencias presentes en el proceso de armado de módulos, por lo tanto, se muestra el siguiente plan de acción con el fin de poder mitigarlos a su máxima expresión posible.

**Tabla 21.** Plan de acción para el proceso de Armado de módulos

| PROCESO                                   | METRICA   | VSM ACTUAL            | PLAN DE ACCIÓN                 | DESCRIPCIÓN   | HERRAMIENTA                 | RESPONSABLE                       |
|---|-----------|-----------------------|--------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| TRASIEGO DE BASES A SITIO DE TRABAJO      | TC > TKT  | 510 > 382,5 Seg/Und   | Estandarizar metodo de trabajo | Reducir los tiempos innecesarios en la ejecución de este proceso con el fin de maximar la producción.   | Prueba de los 5 minutos, 5S | Ingeniero Residente               |
| PERFORACION DE MÓDULOS                    | Lead Time | 1.5 días              | Eliminar proceso               | Es necesario que esta parte del proceso sea realizado por el fabricante antes de llegar a la obra con el fin de eliminar tiempos de inventario para esta actividad. | JIT                         | Jefe de logista y Jefe de compras |
| RECTIFICADO DE ROSCAS                     | TC > TKT  | 1.5 días              | Eliminar proceso               | Es necesario que esta parte del proceso sea realizado por el fabricante antes de llegar a la obra con el fin de eliminar tiempos de inventario para esta actividad. | JIT                         | Jefe de logista y Jefe de compras |
| INSTALACION DE COLUMNAS                   | TC > TKT  | 127,5 > 95,63 Seg/Und | Estandarizar metodo de trabajo | Reducir los tiempos innecesarios en la ejecución de este proceso con el fin de maximar la producción.   | Prueba de los 5 minutos, 5S | Ingeniero Residente               |
| IZAJE Y POSICIONAMIENTO DE BASTIDOR TECHO | TC > TKT  | 510 > 382,5 Seg/Und   | Estandarizar metodo de trabajo | Reducir los tiempos innecesarios en la ejecución de este proceso con el fin de maximar la producción.   | Prueba de los 5 minutos, 5S | Ingeniero Residente               |
| ROSCADO DE HUECOS DE COLUMNAS             | TC > TKT  | 1.5 días              | Eliminar proceso               | Es necesario que esta parte del proceso sea realizado por el fabricante antes de llegar a la obra con el fin de eliminar tiempos de inventario para esta actividad. | JIT                         | Jefe de logista y Jefe de compras |
| SOLDADURA DE PERNOS EN BASTIDOR TECHO     | TC > TKT  | 127,5 > 95,63 Seg/Und | Estandarizar metodo de trabajo | Reducir los tiempos innecesarios en la ejecución de este proceso con el fin de maximar la producción.   | Prueba de los 5 minutos, 5S | Ingeniero Residente               |
| ASEGURAMIENTO DE MÓDULOS                  | TC > TKT  | 510 > 382,5 Seg/Und   | Estandarizar metodo de trabajo | Reducir los tiempos innecesarios en la ejecución de este proceso con el fin de maximar la producción.   | Prueba de los 5 minutos, 5S | Ingeniero Residente               |

*Fuente: Autor*

### 6.5. *Guía de procesos de armado y montaje de módulos.*

Para la realización de esta guía, se inició por identificar los procedimientos clave en la realización del proceso de armado y montaje de módulos, esto con el fin de poder plasmar de forma clara y sencilla los procedimientos a ejecutar y los controles necesarios a realizar, con el fin de eliminar a su máxima expresión posible los reprocesos en obra, que a su vez se traducen en atrasos en el cronograma y sobrecostos. Por lo tanto, se realizó una guía de procesos de armado y montaje de módulos, la cual puede apreciarse en el ANEXO 5 de este documento.

### 6.6. COMO RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Los procesos deficientes durante el armado y montaje de sistemas modulares prefabricados, pueden mitigarse siguiendo los pasos o estrategias planteadas en la metodología Lean Construction, los cuales permiten realizar un control de cada una de las actividades realizadas en el transcurso del ciclo de vida del proyecto, esto con el fin de detectar de forma temprana los desperdicios o reprocesos ejecutados durante el proceso constructivo.

Con el fin de generar un cambio en la empresa Smart Brix, en cuanto a los procedimientos que se llevan a cabo desde el inicio del proceso constructivo modular, se plantea una guía de procesos de armado y montaje, con el fin de mitigar los reprocesos presentados inicialmente en el actual proyecto del ministerio de defensa nacional en la ciudad de Bogotá.

Por otra parte, cabe resaltar que el éxito de esta guía depende del compromiso e importancia que el personal encargado de futuros proyectos que asigne la empresa le dé a la misma, ya que este personal será el encargado de su aplicación e implementación, puesto que en ella solo plantea los procesos de mejora que deben ejecutarse bajo los lineamientos de la metodología Lean Construction, con el fin de mejorar el rendimiento a los procesos que agregan valor a la empresa Smart Brix.

### 6.7. APOORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS.

- La creación de una guía metodológica del proceso de montaje en la construcción de sistemas modulares prefabricados, permitirá a la empresa Smart Brix ejecutar el proceso constructivo mediante los lineamientos de la metodología Lean Construction, evidenciando mejoras en su rendimiento operativo para futuros proyectos.
- Propiciar el hábito de mejora continua en la empresa, mediante la medición de parámetros que permitan identificar los procesos deficientes de forma temprana, a través de las herramientas y técnicas que brinda la metodología Lean Construction.

- Dar a conocer que, en la actualidad, se han generado grandes avances en el sector de la construcción, entre los cuales se destacan las diferentes metodologías que aportan buenas prácticas para la gerencia y gestión de proyectos, como lo es la metodología Lean Construction, la cual permite la mejora de los procesos involucrados durante el ciclo de vida de un proyecto.
- El presente proyecto de grado se limita a la entrega de la guía metodológica del proceso de montaje en la construcción de sistemas modulares prefabricados, mas no en su aplicación, se espera que al ser implementado por la empresa Smart Brix, esta guía permita ejecutar los proyectos con mayor eficiencia y eficacia en cada uno de sus procesos constructivos, de igual forma se aclara que esta guía solo es aplicable a la empresa Smart Brix.

## 7. NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO

- Profundización de las herramientas o tecnologías como el LEAN CONSTRUCTION que permiten la reducción de tiempos de ejecución y reprocesos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, con el fin de disminuir los desperdicios y mejorar la productividad de la empresa.
- Elaboración de una guía de los procesos de mejora que deben implementarse en la construcción de sistemas modulares prefabricados, bajo los conceptos de la metodología Lean Construction para la optimización de rendimientos y tiempos.

## 8. CONCLUSIONES

- En el estudio y análisis realizado bajo la metodología Lean Construction se tomaron como herramientas clave para el desarrollo de esta investigación, la herramienta de las 5S, prueba de los 5 minutos y VSM (Value Stream Mapping), cuyo desarrollo puede observarse en el capítulo 6 de la presente investigación, en donde se corrobora la importancia de generar entornos limpios de trabajo, detectar los tiempos que generan atrasos en el desarrollo de las actividades y generar un orden adecuado del proceso constructivo con el fin de minimizar los reprocesos.
- Según el análisis realizado por el método del VSM (Value Stream Mapping) se determinó que la actividad que presenta mayores deficiencias en obra es el armado de módulos, teniendo en cuenta que de 100 módulos analizados, en el 100% de los mismos hubo reprocesos, siendo este valor equivalente al 51% del total de los reprocesos encontrados en las actividades analizadas entre las que se encuentran: Armado de módulos, Izaje e instalación de módulos de primer nivel, Izaje e instalación de módulos niveles superiores, cubierta y fachada.
- Se determina que deben ser eliminados los subprocesos de roscado, rectificando de roscas y roscado de huecos de columnas en el proceso de armado de módulos, teniendo en cuenta que una vez detectada la actividad que presenta mayores deficiencias en la construcción de sistemas modulares (Armado de módulos), se parte por definir mediante la técnica del VSM (Value Stream Mapping) el estado actual de los subprocesos empleados para el desarrollo de la actividad, en donde se encuentra que los tiempos ejecutados (Cycle Time) en cada uno de dichos subprocesos son mayores a los establecidos en el Tack Time, generando demoras en la ejecución de la actividad; por lo tanto, se recomienda a la empresa Smart Brix incluir estos subprocesos innecesarios en la etapa de fabricación y los demás subprocesos ser tratados según lo recomendado en la tabla 21.
- Se puede concluir mediante la utilización de las 5S que dicha técnica permite mejorar de forma gradual el orden y limpieza de la obra, generando un mejor impacto visual y un ambiente laboral más cómodo y accesible tanto para personal operativo como gerencial del proyecto, impactando de forma positiva el rendimiento. Durante la aplicación del método de las 5S en la presente investigación, se obtuvo un porcentaje de mejora del 18%, por lo tanto, se recomienda a la empresa continuar con estos buenos hábitos y realizar evaluaciones mensuales según el procedimiento desarrollado en la sección 6.2, con el fin de que este porcentaje y la eficiencia del proyecto aumente generando reducción en los tiempos de ejecución.



- Mediante la prueba de los 5 minutos realizadas a las actividades de: Armado de módulos, Aseguramiento de adosamiento, Aseguramiento de apilamiento, Aseguramiento de arriostamiento e Instalación de fibrocemento, se pudo determinar que durante la ejecución de las mismas se presentaban grandes porcentajes de tiempos no contributivos los cuales oscilaban entre 4% y 32% del tiempo de ejecución de la prueba, generando demoras en la ejecución de las actividades; por lo tanto, gracias a charlas de concientización del personal se obtuvieron mejoras en el rendimiento de las actividades, pasando de un porcentaje de aseguramiento de los 6 bloques del edificio del 22,38% y 99,98% al 78,08% y 100% de aseguramiento en el tiempo de prueba.
- Como resultado del proceso realizado bajo la utilización de las herramientas de la metodología Lean Construction se genera una guía de procesos para el montaje de módulos en la empresa Smart Brix (Consultar Anexo 5), la cual servirá como base para la ejecución de futuros proyectos, esto con el fin de proporcionar a la empresa nuevas herramientas que ayuden a mejorar su productividad.

Por otra parte, se realizan recomendaciones con el fin de generar hábitos que permitan que el proceso de mejora continua se evidencie de forma constante y no momentánea, permitiendo un crecimiento continuo de la empresa.

- Es importante generar buenos hábitos en la ejecución de nuevos proyectos, por lo tanto, se recomienda a la empresa realizar capacitaciones continuas en la utilización de las técnicas de la metodología Lean, con el fin de permitir que su utilización beneficie de forma constante a la empresa generando buenas prácticas en la gestión de proyectos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. *A route map for implementing last planner® system in Bogotá, Colombia.* **MEJÍA, Camilo, y otros. 2016.** Boston : Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología Pingtung, 2016. 124301.
2. **ALARCON, Luis F, y otros. 2017.** *Lean Construction: Manual Práctico de Herramientas de Mejoramiento de.* Santiago : Centro de Excelencia en Gestión de Producción Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017. 318217002.
3. **ÁLVAREZ, Pablo. 2015.** GRANDES REALIDADES ARGOS. *GRANDES REALIDADES ARGOS.* [En línea] ARGOS, 07 de 2015. [Citado el: 20 de 04 de 2020.] <http://grandesrealidades.argos.co/experiencia-lean-construction-caso-arquitectura-y-concreto/>.
4. **Asociación colombiana de ingeniería sísmica.** idrd. *idrd.* [En línea] [Citado el: 13 de septiembre de 2020.] <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/6titulo-f-nsr-100.pdf>.
5. **Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). 2012.** *Lean certification: certificación de un sistema de gestión lean.* s.l. : AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012. 9788481437683.
6. **Cadena, Juliana . 2014.** Prezi. [En línea] 21 de 06 de 2014. [Citado el: 29 de 08 de 2020.] <https://prezi.com/h1nh6vuy8vp5/sistema-constructivo-tradicional/>.
7. **CAMACOL. 2015.** CAMACOL Bogotá y Cundinamarca. *CAMACOL Bogotá y Cundinamarca.* [En línea] camacol, 20 de 05 de 2015. [Citado el: 18 de 04 de 2020.] <https://ww2.camacolcundinamarca.co/382-reconocimiento-lean-construction.html>.
8. **—. 2016.** Camara Colombiana de la construcción. *Camara Colombiana de la construcción.* [En línea] 24 de Noviembre de 2016. [Citado el: 13 de septiembre de 2020.] <https://ww2.camacolcundinamarca.co/productos/ciclo-de-capacitaciones/410-curso-lean-construction.html>.
9. **CANO, Henry, NIETO, Nilton y ARANGO, Katherine. 2017.** *Implementación de la Metodología Lean Construction para la optimización de recursos en la empresa Gramar S.A. (tesis de posgrado).* Universidad Católica de Colombia. bogota : s.n., 2017.
10. **CEPEDA, Nelson Fabian. 2018.** *MODELO CONCEPTUAL PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA CONSTRUCTORA BAJO EL ENFOQUE BUILDING INFORMATION MODELING y LEAN CONSTRUCTION CASO DE ESTUDIO SOGAMOSO – BOYACÁ.* Bogota D.C : s.n., 2018.
11. **Conexion ESAN. 2016.** Conexion ESAN. *Conexion ESAN.* [En línea] 20 de 10 de 2016. [Citado el: 24 de 04 de 2020.] <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/10/la-filosofia-lean-supera-a-la-manufactura-tradicional/>.
12. **Construcción Lean.** Construcción Lean. *Construcción Lean.* [En línea]

- [Citado el: 19 de 04 de 2020.] <http://www.construccionlean.com/intro>.
13. **CUATRECASAS ARBÓS, Lluís. 2012.** *Gestión de la producción: modelos de Lean Management*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012. 9788499693545.
  14. **DE LAS HERAS DEL DEDO, Rafael , ÁLVAREZ GARCÍA, Alonso y LASA GÓMEZ, Carmen. 2017.** *Métodos ágiles: Scrum, Kanban, Lean*. ES: Difusora Larousse - Anaya Multimedia, 2017. 9788441537712.
  15. *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos*. **PORRAS DÍAZ, Hernán, SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanny y GALVIS GUERRA, José Alberto. 2014.** [ed.] Universidad Libre. 1, Bogota : s.n., 2014, Avances : Investigacion en Ingenieria, Vol. 11. 1794-4953.
  16. *From checklists to design process support systems: Initial framing*. **PIKAS, Ergo, y otros. 2019.** Dublin : he International Group for Lean Construction, 2019.
  17. **GARCIA, Jorge, ECHEVERRY, Diego y MESA, Harrison. 2013.** *Gerencia de proyectos: aplicación a proyectos de construcción de edificaciones*. Bogotá : Universidad de los Andes, 2013. 9789586958691.
  18. **GILIBETS, Laila. 2013.** IEBS Business school. *IEBS Business school*. [En línea] 31 de 07 de 2013. [Citado el: 24 de 04 de 2020.] <https://www.iebschool.com/blog/metodologia-kanban-agile-scrum/>.
  19. **GONZALES, Domingo. 2013.** *APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN*. Valladolid : Universidad de Valladolid, 2013.
  20. **Institute, Project Management. 2017.** *PMBOK SEXTA EDICION*. 2017.
  21. *Integrated lean and BIM processes for modularised construction - A case study*. **MCHUGH, Kevin, DAVE, Bhargav y CRAIG, Ray. 2019.** Dublin : The International Group for Lean Construction, 2019.
  22. **LATORRE, Asier. 2015.** *Filosofía Lean en la construcción*. Valencia : Universidad Politecnica de Valencia, 2015.
  23. *Lean and BIM implementation in Colombia; interactions and lessons learned*. **GÓMEZ, Juan Martín, PONZ, José Luís y ROMERO, Juan Pablo. 2019.** Dublín : The International Group for Lean Construction, 2019.
  24. **Lean Construction Enterprise. 2016.** Lean Construction Enterprise. *Lean Construction Enterprise*. [En línea] 1 de 11 de 2016. [Citado el: 19 de 04 de 2020.] <https://sites.google.com/a/leanconstructionenterprise.com/lean-construction-enterprise/documentacion/lean-construction>.
  25. *Lean construction LC bajo pensamiento Lean*. **Rojas López, Miguel David, Henao Grajales, Mariana y Valencia Corrales, María Elena. 2015.** 30, Medellín : Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 2015, Vol. 16. 10.22395.
  26. *LEAN CONSTRUCTION: CONCEPTO, TÉCNICAS Y*. **Garcia Martinez, Recadero Jose. 2016.** Ciudad real : s.n., 2016.
  27. **Lean Solutions. 2014.** Lean Solutions. *Lean Solutions*. [En línea] 2014. [Citado el: 24 de 04 de 2020.] <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/vsm-value-stream-mapping/>.

28. **LLEDÓ, Pablo y MERCAU, Raúl. 2015.** pablolledo. *pablolledo*. [En línea] 08 de 08 de 2015. [Citado el: 19 de 04 de 2020.] <http://pablolledo.com/content/articulos/08-08-15-Lean-Project-Management-Lledo.pdf>.
29. **LUNA, Jessica Juliet y PARRA, Tatiana Lisveth. 2019.** *DISEÑO DE METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION BAJO LINEAMIENTOS GERENCIALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN LA EMPRESA ARDISEK*. Bogota D.C : s.n., 2019.
30. **MARTÍNEZ, Yeisy Alejandra. 2019.** *Formulación un Plan Estratégico Basado en la Filosofía Lean Construction para Pequeñas Empresas Constructoras; caso en estudio: HM Inversiones y Construcciones S.A.S*. Bogota D.C : s.n., 2019.
31. **MATA, Carmen. 2015.** INNOVACIÓN EN LA FABRICACIÓN LEAN POR INGENIERÍA KANSEI-CHISEI. [aut. libro] Carmen Mata Montes. *INNOVACIÓN EDUCATIVA EN LAS ENSEÑANZAS TÉCNICAS VOLUMEN III*. Cuenca : Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha., 2015.
32. *Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital.* **Gómez Cabrera , Adriana , y otros. 2012.** 2, Santiago : Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012, Vol. 27. 0718-5073.
33. **NEOBLOCK BUILD YOUR WORLD. 2016.** NEOBLOCK BUILD YOUR WORLD. *NEOBLOCK BUILD YOUR WORLD*. [En línea] NEOBLOCK, 19 de 07 de 2016. [Citado el: 20 de 04 de 2020.] <https://neoblockmodular.com/que-es-una-construccion-modular/>.
34. **NOFUENTES PÉREZ, Santiago . 2014.** *Más calidad menos coste: la vía Lean Healthcare*. s.l. : Ediciones Díaz de Santos, 2014. 9788499696683.
35. **PÉREZ, Raúl. 2011.** *Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en LEAN*. cataluña : Universitat politècnica de catalunya, 2011.
36. **PONS, Juan Felipe. 2014.** *Introducción a Lean Construction*. Madrid : Fundación Laboral de la Construcción, 2014. 6849-2014.
37. **Project Management institute. 2017.** *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pensilvania : Project Management Institute, 2017. 9781628253924.
38. **RAJADELL, Manuel y SANCHEZ, Jose Luis. 2010.** *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, 2010. 9788479785154.
39. **VILLAMIZAR, Diego Hernando y ORTIZ, Leidy Janeth. 2016.** *Implementación de la filosofía Lean Construction en la constructora COLRPOYECTOS S.A.S de un proyecto de vivienda en el municipio de villa del rosario*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2016. 102037.
40. *Why lean projects are safer.* **HOWELL, Gregory, BALLARD, Glenn y DEMIRKESEN, Sevilay. 2017.** Berkeley : The International Group for Lean

Construction, 2017.