

DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO

Fecha de entrega: 28 de abril de 2020

Estudiante: Yuly Carolina Parra Vargas

Director: Andrés Felipe Santos Hernández

Codirector:

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos Copia digital del Trabajo de Grado (1)

Firma Director

Firma Codirector

Firma Estudiante

**UNA APROXIMACIÓN AL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE LA
ETAPA DE ACABADOS EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDA; CASO DE ESTUDIO**

YULY CAROLINA PARRA VARGAS

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020**

**UNA APROXIMACIÓN AL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE LA
ETAPA DE ACABADOS EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDA; CASO DE ESTUDIO**

YULY CAROLINA PARRA VARGAS

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director Ing. Andrés Felipe Santos (M.Sc)

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020**

ARADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme la oportunidad de cumplir este sueño, por darme la sabiduría para realizar esta investigación y proveerme los medios y las personas que han hecho parte de este proceso.

Doy gracias infinitas a mi familia, a mi mamá y papá, por todo lo que me han brindado, por apoyarme desde el momento que tome la decisión de recorrer este camino y darme ánimos cuando sentía desfallecer. Especialmente a mis hijos Nicolás, Martín y al amor de mi vida por ayudarme, esperarme y entenderme cuando tenía que ausentarme para cumplir compromisos académicos, porque hoy estoy aquí culminando esta etapa para ser la mejor mujer y mamá del mundo para ustedes, los amo.

Finalmente doy gracias al Ingeniero Andrés Felipe Santos, por toda su paciencia, compromiso y dedicación, Dios le multiplique en bendiciones todo el apoyo recibido.

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota “Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería” en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2013 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá. Colombia

TEL: +57 – 1 668 36 00

RESUMEN

Aunque el sector de la construcción en la última década ha crecido en Colombia, en la actualidad se están percibiendo situaciones que dejan en desventaja este mercado, proyectando erosiones en su crecimiento. Algunas organizaciones se han dado cuenta, que es relevante desarrollar modelos tácticos de operación más eficientes, que mejoren los niveles de precio, que disminuyan los tiempos de entrega, buscando así, nuevas ventajas competitivas en el mercado. De cara a esta realidad, el propósito de esta investigación se focaliza en determinar nuevas prácticas a partir de una valoración lean, que neutralicen o disminuyan las fuentes de desperdicio y la generación de costos en post-venta, por reproceso, a lo largo del flujo de valor del proceso de “Acabados de construcción de vivienda” en un proyecto de construcción ubicado en la ciudad de Neiva.

Abstract

Although the construction sector in the last decade has grown in Colombia, situations are currently being perceived to disadvantage this market, projecting erosion in its growth. Some organizations have realized that it is relevant to develop more efficient tactic models of operation, which improve the price level, accelerating delivery times and thus seeking new competitive advantages on the market. In view of this reality, the purpose of this investigation is focused on determining new practices from a valuation that will lead to neutralizing or decreasing the sources of waste and cost - of - Post costs, by reprocessing along the value stream of the "housing construction process in a construction project located in Neiva city

TABLA DE CONTENIDO

Lista de tablas	9
Lista de imágenes	9
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos.....	12
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	13
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN EN ESTUDIO	20
Descripción de la problemática	20
Estructura del proyecto.....	22
Proceso de acabados	23
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
VSM actual.....	26
Simulación en Promodel del VSM actual	38
Oportunidades de mejora lean	41
1. <i>Aprovechamiento de la precedencia de las actividades</i>	41
2. <i>Balanceo de la línea del proceso constructivo de acabados</i>	43

3.	Obtención de información en tiempo real - Construcción 4.0	46
4.	<i>Implementación 5S en el proceso de acabados</i>	51
5.	<i>Manejo y manipulación de materiales</i>	54
	VSM futuro.....	55
	Simulación VSM futuro en Promodel	59
	RESULTADOS OBTENIDOS	61
	Las mejoras implementadas en el VSM futuro	61
	Restricciones de la investigación.....	64
	CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES	65
	Conclusiones.....	65
	Recomendaciones	67
	Futuras investigaciones	67
	REFERENCIAS	69

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Artículos e investigaciones en Lean Construction y Value Stream Mapping.</i>	19
<i>Tabla 2. Descripción de actividades para recolección de datos.</i>	28
<i>Tabla 3. Herramienta 5W aplicada a la situación actual.</i>	33
<i>Tabla 4. Información utilizada para construcción del VSM.</i>	35
<i>Tabla 5. Íconos utilizados en la construcción del VSM actual y futuro.</i>	36
<i>Tabla 6. Datos de simulación de VSM actual en Promodel.</i>	39
<i>Tabla 7. Precedencia de actividades de la etapa de acabados.</i>	42
<i>Tabla 8. Análisis de variables del balanceo del proceso.</i>	44
<i>Tabla 9. Metodología de implementación 5S en el proceso constructivo de Acabados.</i>	52
<i>Tabla 10. Checklist de 5S proceso de acabados.</i>	53
<i>Tabla 11. Listado de materiales a transportar con torre grúa.</i>	55
<i>Tabla 12. Actividades beneficiadas por las mejoras.</i>	56
<i>Tabla 13. Datos para la construcción del VSM futuro.</i>	57
<i>Tabla 14. Datos que varían para la simulación del VSM.</i>	59
<i>Tabla 15. Resumen mejoras obtenidas en proceso de acabados.</i>	61
<i>Tabla 16. Ahorro en días por cada actividad del proceso constructivo de acabados.</i>	62
<i>Tabla 17. Mejoras por actividad.</i>	64

Lista de imágenes

<i>Imagen 1. Los 8 desperdicios en la construcción.</i>	22
<i>Imagen 2. Distribución apartamento del proyecto en estudio.</i>	23
<i>Imagen 3. VSM actual.</i>	37
<i>Imagen 4. Simulación del VSM actual en Promodel.</i>	40
<i>Imagen 5. Diagrama de precedencia proceso de acabados con datos de la situación actual.</i>	42
<i>Imagen 6. Balanceo del proceso de acabados.</i>	45
<i>Imagen 7. Formulario diseñado para la captura de datos en el aplicativo móvil Scan It To Office.</i>	47
<i>Imagen 8. Ejemplo Dashboard en tiempo real proceso de acabados.</i>	49
<i>Imagen 9. Códigos QR generados para recolección de información en tiempo real.</i>	50
<i>Imagen 10. Descripción de las 5S.</i>	52
<i>Imagen 11. Accesorio para torre grúa.</i>	54
<i>Imagen 12. VSM futuro.</i>	58
<i>Imagen 13. Simulación VSM futuro.</i>	60

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una de las más antiguas del mundo y en Colombia una de las que más le aporta al PIB¹, en promedio el 6,5% anual (Cifuentes, 2019). Cabe resaltar que factores como la movilidad, el tiempo, la conectividad, el desempleo y el medio ambiente están generando cambios importantes en la forma de consumir los productos inmobiliarios.

Sin embargo, este aporte al PIB se ha visto afectado por el decrecimiento del valor agregado de la construcción en general del 5,6% y específicamente el sector de edificación residencial y no residencial en un 8,8% en el año 2019 (Bohórquez, 2019), en el artículo ¿Qué está pasando con la construcción en Colombia? periódico el Espectador, en entrevista a Bruce Mac Master, presidente de la ANDI², resume en cuatro, las causas de esta situación:

1. La fuerte caída de la demanda entre los años 2016 y 2017.
2. Incertidumbre política entre los años 2017 y 2018, afectando la expectativa de empleo y calidad de vida de las personas,
3. El boom de la construcción presentado hasta el 2015, que aún tiene proyectos en proceso constructivo y proyectos terminados pero no vendidos en su totalidad.
4. Las políticas del gobierno anterior que generaban gran dinamismo en el sector con la vivienda VIS³ y VIP⁴.

En adición a estas causas socioeconómicas y políticas (CAMACOL, 2018) en su primer informe de productividad del sector de construcción de edificaciones, hace un balance en el que expone que la productividad del sector en Colombia en el periodo 1995-2015, presentó los niveles más bajos, denotando que el crecimiento del valor agregado por trabajador en el sector fue de apenas 1,0%, mientras que el de la economía en general fue de 2,7%. Además, encontró una brecha importante en la adopción de nuevas tecnologías por parte del sector, fomentando la utilización de mano de obra no calificada y afectando la calidad de los proyectos ofertados.

¹ PIB: Producto Interno Bruto

² ANDI: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia

³ VIS: Vivienda de Interés Social.

⁴ VIP: Vivienda de Interés Prioritario.

El estudio de (CAMACOL, 2018) también identifica siete frentes en los cuales se puede avanzar para el mejoramiento de la productividad y son:

- Normativo: generar reglas claras y estándar para tener reglas de juego;
- Modelos contractuales: buscar mayor colaboración al interior de la cadena de valor;
- Repensar los diseños de las construcciones: buscar la estandarización de los procesos;
- Mejorar la planeación y tecnología con los proveedores;
- Mejorar la ejecución de obra en sitio
- Adoptar nuevas tecnologías
- Capacitar continuamente la mano de obra

Por tal razón, el realizar un análisis del comportamiento del flujo de valor mediante el uso de VSM y su simulación, de la etapa de acabados en el proceso de construcción, será clave para identificar y demostrar la efectividad y originalidad del proceso propuesto frente al proceso actual, de tal manera, que haya una mayor credibilidad de la filosofía lean en este sector, definiendo la implementación de lean construction como una muy buena estrategia para el aumento de la productividad del sector.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar y plantear cinco prácticas en el proceso de construcción de la etapa “Acabados”, que logren neutralizar o disminuir las fuentes de desperdicio en el flujo de valor de un proyecto de construcción de vivienda ubicado en la ciudad de Neiva, mediante el uso del Value Stream Mapping.

Objetivos específicos

- ✓ Esbozar y modelar el VSM actual de la etapa de “Acabados”, identificando las cinco operaciones que tienen el más alto índice de desperdicio.
- ✓ Proponer cinco prácticas tipo lean, que incrementaran el flujo del valor en el proceso de acabados de un proyecto de construcción de vivienda ubicado en la ciudad de Neiva.
- ✓ Modelar y construir el VSM futuro en conjunto con el VSM actual, de tal manera que se evidencie el mejoramiento de los indicadores lean en el proceso de acabados de un proyecto de construcción de vivienda ubicado en la ciudad de Neiva.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles serían las prácticas sugeridas para neutralizar o disminuir las fuentes de desperdicio y la generación de costos ocultos a lo largo del flujo de valor de la etapa de acabados en un proyecto de construcción de vivienda ubicado en la ciudad de Neiva?

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La cadena de valor es una herramienta que identifica las principales actividades que crean un valor para los clientes y las actividades de apoyo relacionadas. A su vez, permite equiparar los diferentes costos en que incurre una organización a través de las distintas actividades que conforman su proceso productivo, por lo que constituye un elemento indispensable para determinar la estructura de costos de una compañía (Quintero & Sánchez, 2006).

Quintero y Sánchez consideran que la cadena de valor de una empresa, desde el punto de vista estratégico, es el medio más eficiente de implementar planes y programas de mejora si la compañía tiene clara la forma en la cual se desempeña cada actividad, reflejando de esta manera la evolución de su propio negocio y de sus operaciones internas. La estrategia competitiva consiste en tomar decisiones defensivas u ofensivas para establecer una posición clara y defendible en la industria, permitiéndole a la organización afrontar de manera eficaz la competitividad, y de esta manera optimizar los rendimientos de la compañía (Porter, 2008).

Quintero y Sánchez expresan que el concepto de cadena de valor lo popularizo Michael Porter en la década de los 80 en publicaciones como *Ventaja competitiva y Estudio de sectores industriales y la competencia* de donde se deduce que el análisis de la cadena de valor es una técnica diseñada para obtener ventajas competitivas.

Por lo tanto conocer la forma en la que se desempeña cada actividad, es comprender la cadena de valor, pero principalmente identificar el valor de cada actividad y éste solo puede ser definido por el consumidor final. El valor de cada producto o servicio es diferente, y su estimación está ligada directamente a la percepción del cliente. En la cadena de valor se encuentran tres tipos de actividades que son definidas a partir del análisis de valor: actividades con valor agregado, son las que el cliente reconoce y que contribuyen al precio que paga finalmente por el producto o servicio; actividades de apoyo relacionadas aquellas que no agregan valor pero son indispensables para la ejecución de otras actividades, por lo tanto no se pueden eliminar del proceso, pero si mitigar o reducir los desperdicios que generan en su ejecución; y finalmente las actividades que pueden ser eliminadas y el proceso no se ve afectado por su desaparición (Jones & Womack, 2012).

Jones y Womack en su libro *Lean Thinking*, consideran que identificar el valor es el punto de partida básico para iniciar la transformación de una empresa con el pensamiento *lean*, una filosofía basada en hacer más con menos, más producción, con más valor, por lo tanto, más utilidades y menos recursos ya sea humano, equipo, tiempo, espacio o dinero. *Lean* es una filosofía que comprende un conjunto de herramientas de eficiencia que se pueden aplicar en cualquier negocio para ahorrar dinero, disminuir costos, eliminar desperdicios y entregar eficazmente servicios o productos gratos al cliente. El término fue inicialmente definido por Taichi Ohno, cuando el pensamiento *lean* empezó a ser implementado en Toyota, logrando una operación altamente rentable entre 1946 y 1975 (Fernández, 2014) por medio de la creación del Sistema de Producción Toyota (TPS siglas en inglés) en el cual los objetivos principales son eliminar la sobre carga (*muri*) las inconsistencias (*mura*) y los desperdicios (*muda*).

Koskela et. al, 2019 sostiene que la filosofía *lean* promueve y utiliza por medio de la ingeniería el desarrollo de métodos y herramientas eficaces para realizar la extracción del conocimiento generado en la práctica de una actividad específica, lo que denomina generación de conocimiento táctico. *Lean* lo enmarca en lo que se conoce como *kaizen*⁵ y lo contextualiza en términos de ingeniería por medio del formato A3⁶. Igualmente aplica para la implementación de *lean construction*, toda vez que su fundamento teórico está basado en esta filosofía originada en Japón.

El uso de *lean* en diversos sectores productivos ha tomado impulso en la última década, y de manera particular *lean construction* (LC) ha sido práctico en el desarrollo de nuevos proyectos de construcción. Este concepto de mejora para la industria de la construcción fue creado en 1992 por el Profesor Lauri Koskela y empezó a implementarse en algunos países en 1993, en Colombia el conocimiento de la construcción sin pérdidas ha sido implementado en diferentes empresas y aplicado de manera exitosa, sus principios han obtenido resultados favorables para las compañías. (Botero, 2006). En 2015, 18 empresas recibieron en Colombia un reconocimiento por la implementación de *lean construction* de manos del profesor Koskela en un evento organizado por CAMACOL, las empresas fueron: Apiros, Amarillo, Arpro Arquitectos Ingenieros,

⁵ *Kaizen*: es una palabra de origen japonés compuesta por dos vocablos: *kai* que significa cambio, y *zen* que expresa para algo mejor, y de este modo significa mejoras continuas.

⁶ Formato A3: Herramienta fundamentada en el ciclo Deming PHVA, que facilita y organiza la implementación de acciones de mejora generando aprendizaje en la organización a raíz de la solución de un problema.

Bioconstrucciones de Colombia, Construcciones Arrecife, Constructora Bolívar, Constructora Capital Bogotá, Corac Construcciones, Cusezar, Desarrolladora de Zonas Francas, Grecon Ingenieros, IC Constructora, Ingeurbe, Marval, Organización Construmax, Proksol, Prodesa, Triada y Urbanizadora Santafé de Bogotá Urbansa (CAMACOL Bogotá & Cundinamarca, 2015).

Lean Construction es el resultado de la aplicación de una forma de gestión de producción más eficiente y efectiva en la construcción. Las principales características ajustadas a la construcción incluyen un objetivo claro para el tiempo de entrega, con el propósito de maximizar el rendimiento durante todo el ciclo de vida del proyecto desde el diseño hasta la entrega al cliente final. (Aziz & Hafez, 2013). Para lograr una correcta implementación de LC es necesario implementar métodos de control en la construcción en tiempo real que favorezcan la toma de decisiones, toda vez que los sistemas de planificación “anticipados” tienen ciclos relativamente largos que no responden a los requisitos dinámicos de producción de la construcción, que requiere un control diario y con un alto nivel de detalle (Dave et. Al, 2016).

Uno de los grandes retos de LC es lograr una sinergia entre las preocupaciones sociales y ambientales, los intereses económicos y ambientales, y las preocupaciones sociales y económicas para lograr la sostenibilidad que necesita el sector y de esta forma promover la implementación de LC como una solución holística a las diferentes problemáticas de la construcción (Solaimani & Sedighi, 2020).

Yu, et al. (2009) presentan un modelo basado en LC para empresas de construcción, con el fin de reducir los desperdicios y las acciones que no aportan valor. El modelo propuesto busca desarrollar la técnica de Value Stream Mapping, entendida como un mapa que ayuda a los planeadores “a pensar en términos de un flujo [de materiales e información] en vez de desperdicios aislados” (p. 782, traducción propia). Es decir, con la implementación de VSM se genera una mirada sistémica de los procesos, en la que cada acción afecta el resultado final.

El Value Stream Mapping (VSM), es un diagrama en el que se visualiza el flujo del proceso de producción; se esboza el flujo de izquierda a derecha, de manera continua sin doblar o cambiar de página. Las subtareas o tareas paralelas son dibujadas debajo del flujo principal, el cual es

denominado flujo de valor. Se debe tener en cuenta el tiempo de las tareas principales, así como los detalles menores del proceso. Esto permitirá que el equipo desarrollador del VSM puedan identificar en donde se encuentran las rutas alternas para mejorar el proceso, así como, los problemas y las oportunidades de mejoras existentes; para ser analizadas y discutidas en un equipo de trabajo en búsqueda de soluciones, eliminando residuos y logrando una mejora conjunta del proceso (Nash & Poling, 2008).

Yu *et al.* (2009) explican tres causas por las cuales hay una limitada introducción de VSM en la construcción. En primer lugar, esta técnica se consideraba adecuada solo en procesos de manufactura, en los que se adelantan procesos cíclicos y repetitivos. En segundo lugar, dentro del VSM se contemplan procesos de manufactura que no son muy claros en el sector construcción. En tercer lugar, porque es una herramienta cuantitativa que requiere de una alta inversión en recursos humanos, temporales y financieros relacionados con la recolección, sistematización y análisis de datos.

Björnfot *et al.* (2011) analizan las lecciones aprendidas tras la creciente implementación de VSM como herramienta propicia para LC. Los autores resaltan la importancia del LC, pues resalta la visualización y la transparencia, de manera que: “se permita a todos ver todo lo que ocurre durante la producción” (p. 163). A partir de esto, la implementación de VSM es clave, pues permite la visualización, publicidad de la información, materiales, objetivos y necesidades. Al igual que Yu *et al.* (2009), Björnfot *et al.* (2011) reconocen que existen diversos retos en el sector de la construcción para implementar VSM. Estos retos se relacionan con la falta de elección de personal adecuado para la realización de VSM, y la falta de decisiones de planeación y ejecución detalladas para cada proyecto.

Björnfot *et al.* (2011) encontraron que la implementación de VSM ha enseñado tres lecciones básicas, que pertenecen a la fase del uso de esta herramienta (antes, durante y después). Estas fases son:

- Preparar el VSM (seleccionar los líderes de flujo de valor y el equipo VSM, valores de clarificación, etc.)

- Desarrollar el VSM (uso de herramientas de mapeo, aproximación de indicadores clave, identificación de desperdicios, etc.)
- Actuar a partir del VSM (Planear-Hacer-Verificar-Actuar, evaluar los valores de consumidor, etc.). (p. 163)

Los anteriores investigadores logran trazar la imagen del VSM no solo como una herramienta, sino como estrategia fundamental de la gestión de los proyectos relacionados. Hacen referencia de un *lean journey* (viaje sin desperdicios), en el que la actividad de planeación resulta crucial en todos los momentos. Con el objeto de cumplir este fin, se hace necesario mejorar los procesos de formación de managers de construcción, así como de los gerentes de este tipo de empresas, para que estos principios se integren oficialmente en los contratos.

En la presentación de VSM, Camargo y González (2011) han logrado integrar un factor que no se había considerado dentro de la presentación de las empresas en relación con sus procesos: los clientes. Este es un factor relevante de VSM en LC, ya que permite considerar que el proceso tiene un alto impacto en el entorno y en los clientes.

Matt *et al.* (2013) plantean que el VSM, en la industria de la construcción, no puede considerarse estático. Depende de factores externos que no pueden ser controlados, como el clima o las exigencias de los clientes, y la estabilidad económica en general. En este sentido, la flexibilidad de VSM se genera al comprender la actividad como una secuencia de actividades con limitantes temporales. Para crear una adecuada estrategia de cooperación, los autores proponen estandarizar los elementos centrales del proceso de VSM en LC, que son:

- Optimización de la administración y control durante la ejecución de la construcción.
- Optimización de la logística.
- Unión de la planeación y la ejecución.
- Administración inteligente del cambio.

Estos pasos se integran en el VSM al estudiar el cumplimiento de órdenes, la organización de la producción, el control del proyecto y el arreglo de logística. Si se contrasta esta investigación

con la de Camargo y González (2011) se puede inferir que una preocupación crucial en el momento de incorporar LC y de implementar VSM es la de la gestión de los proyectos y la logística.

Rosenbaum *et al.* (2013) proponen incorporar dentro de los conceptos claves para el VSM:

- *Push flow*: como el sistema de producción mínimo requerido por la demanda de clientes.
- *Pull flow*: como el sistema de producción para el inicio de cada actividad.
- *Línea de inventario*: como el trabajo en proceso.

Además, incorporan actividades de planeación kaizen y tiempo de actividad. Estos conceptos se pueden relacionar con los propuestos por Yu *et al.* (2009), de manera que se puede evidenciar una continuidad en la estandarización de los componentes el VSM para la construcción. A partir de esto, los autores proponen que se pueden realizar acciones específicas para identificar problemas y ofrecer soluciones, reduciendo las ineficiencias, los gastos y los tiempos de entrega.

Yu *et al.* (2009); y Rosenbaum *et al.* (2013), logran encontrar los efectos positivos de la implementación de VSM en LC. Estos hallazgos son constatados por Björnfot *et al.* (2011), quienes resaltan la necesidad de pensar en VSM como una herramienta en todas las fases del proceso de construcción, como la planeación, previsión y contratación. Camargo y González (2011) inician un proceso complejo de revisión y observación, que permite identificar actividades, procesos, elementos y componentes de la construcción, para desarrollar un VSM efectivo. Además, Camargo y González (2011); y Matt *et al.* (2013) ponen bajo la lupa la necesidad de proponer acciones claras de gestión de proyectos, implementando estrategias derivadas del VSM. El estudio de Páez *et al.* (2011) es igualmente importante para el presente proyecto de investigación, pues evidencia la necesidad de capacitación en Colombia para implementar el VSM.

De manera complementaria a esta revisión, la tabla 1 ilustra algunas investigaciones relevantes que han abordado el tema:

Año	Autor (es)	Título	Institución	Tipo
2009	Yu, Tweed, Al-Hussein y Nasser.	Development of lean model for house construction using value stream mapping.	Universidad de Alberta	Artículo.
2011	Camargo y González	Propuesta de un sistema operativo de gestión basado en la filosofía “Lean Construction” que permita estandarizar las actividades implicadas en el montaje de la estructura metálica de un edificio.	Universidad de la Salle	Tesis de Especialización.
2013	Páez, Vargas y Ramírez	La institucionalización del Lean Construction en un país en desarrollo.	Universidad de los Andes.	Conferencia.
2014	Dal Forno, Pereira, Forcellini y Kipper	Value Steam Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of lean tools.	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Artículo.
2016	Ramos y Santos	Investigation of wastes due to unfinished work and their impact on the cycle time of construction processes.	Universidad Federal de Sergipe - Brasil	Artículo.
2017	N.Sudhakar y Mr. K. Vishnuvardhan	Improving Productivity in Construction by using Value Stream Mapping.	Kongu Engineering College	Artículo.

Tabla 1. Artículos e investigaciones en Lean Construction y Value Stream Mapping.

Fuente: (Yu *et al.*, 2009), (Camargo & González, 2011), (Páez *et al.*, 2013), (Dal Forno *et al.*, 2014), (Ramos & Santos, 2016), (Sudhakar & Vishnuvardhan, 2017)

En los artículos relacionados se puede evidenciar diferentes métodos de implementación de la filosofía, las barreras culturales que se presentan en el desarrollo de un modelo LC en un país como Colombia y las mejoras que se pueden llegar a evidenciar al estandarizar por medio de la metodología, procesos constructivos en los que se genere más valor y cuyas actividades son susceptibles a presentar exceso de desperdicios.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN EN ESTUDIO

Descripción de la problemática

La industria de la construcción en Colombia enfrenta una situación problemática, derivada de la crisis económica del país y la fluctuación en el precio de la vivienda en medio de un sector que no es tan productivo. A raíz de esto, se crea en algunas empresas de construcción, la necesidad de esbozar tácticas y estrategias que logren diferenciación en el mercado, puntualmente en el precio y en el tiempo de entrega. El problema se construye a partir de una realidad improductiva de algunas organizaciones en este mercado, ya que los inmuebles son costosos y sus entregas han sido lentas y demoradas, asociado a un bajo nivel de servicio.

Incentivar la construcción favorece también la generación de empleos (Montoya *et al.*, 2010; García, 2012). Por tanto, el sector de la construcción es clave para el desarrollo de la sociedad, en la edificación de espacios habitables, el aumento del empleo y la reactivación económica del país. De esta manera, es clave para el gobierno, al reactivar la economía, el preocuparse por incentivar la acción en este sector, así como velar por que no se vea afectado por las fluctuaciones financieras (Montoya *et al.*, 2010; Del Río, Langard, Arturi & Politis, 2013).

Para CAMACOL (2008), el sector construcción en el país no se ha caracterizado por ser competitivo a lo largo de su historia, por lo que CAMACOL y el SENA (2017) afirman que el principal reto para las empresas de construcción, de cara al 2020, radica en “producir más y mejor utilizando menos recursos”, toda vez que las dinámicas actuales han decantado en aumentos de costos de producción y ventas. En resumen, la situación problemática del sector construcción en Colombia se construye a partir de 5 causas según el informe de CAMACOL Y SENA (2017):

1. La crisis económica nacional, que ha afectado a todos los sectores de la economía colombiana y a los ingresos de las familias.
2. Demanda: Se ha reducido el gasto en compra de viviendas VIS y no VIS, en relación con la crisis económica.
3. En cuanto a la Oferta:
 - o Se han reducido las licencias para construir licencias VIS.

- Se han disminuido las áreas disponibles para construcción.
 - Han fluctuado los precios de los materiales de construcción.
4. El sector construcción en Colombia se ha caracterizado por no ser tan competitivo. Esto no favorece la creación de estrategias de competitividad, posicionamiento estratégico y creación de valor agregado.
 5. Los precios de las viviendas tienen una alta fluctuación y han aumentado a precios elevados.

En Colombia, desde el 2002 se ha venido explorando LC en el sector privado como herramienta de mejora; la intervención de las universidades ha sido limitada, CAMACOL ha realizado capacitaciones y congresos a empresarios del gremio. Entre algunas investigaciones, el arquitecto Luis Fernando Botero Botero ha desarrollado proyectos con artículos en la revista Ciencia y Tecnología y dos libros en los que desarrolla el tema (Porrás et. Al, 2014). De cara a este conocimiento, en la ciudad de Neiva no se han encontrado documentos o investigaciones relacionadas con las prácticas de LC, que ayuden a disminuir los desperdicios y las pérdidas generadas por actividades que no agregan valor en el proceso (D, Medina, comunicación personal, septiembre 10 de 2018).

En un proyecto de construcción, por lo general, se encuentran 5 fases que estructuran el proyecto: fase previa (topografía, replanteo y localización); cimiento (incluye movimiento de tierras); estructura; montaje de fontanería, mecánica y estructura; y acabados. Terminada esta última fase, se entrega el proyecto a post-venta quienes tienen a cargo la gestión de contacto directo con el cliente final, evidenciando los sobrecostos del proceso por reclamaciones y garantía, las cuales están asociadas en un 80% a la fase de acabados (D, Medina, comunicación personal, septiembre 10 de 2018).

La mayoría de procesos de construcción de vivienda tradicionales son similares, independiente a la empresa constructora que ejecute el proyecto, por tanto, las nuevas prácticas que se propongan como resultado de la investigación se enfocarán en la reducción o eliminación de los 8 desperdicios definidos en lean que son: defecto, sobreproducción, inventario, área, transporte, movimiento, procesos innecesarios, espera (ver imagen 1). Lo anterior, en el proceso de construcción en la etapa

de acabados, teniendo en cuenta que no se respetan los principios de diseño mediante el enfoque diseño-licitación-construcción ocasionando atrasos en la finalización de los proyectos, sobrecostos para las constructoras y clientes insatisfechos (Porras et. Al, 2014).

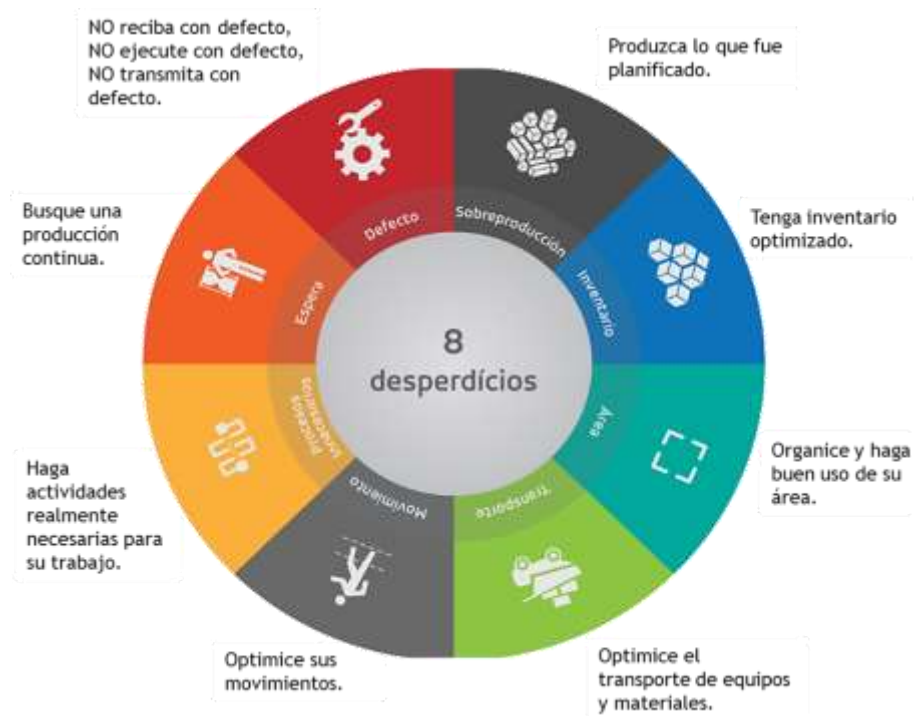


Imagen 1. Los 8 desperdicios en la construcción.

Fuente: Cartilla CERO Desperdicio – Consorcio CCC Ituango. 2016

Estructura del proyecto

El proyecto consta de 15 torres, cada torre de 10 pisos y cada piso de 4 apartamentos. En total son 600 apartamentos y cada uno con un área construida de 61,96 M2. A continuación en la imagen 2 se puede visualizar la distribución del apartamento:



Imagen 2. Distribución apartamento del proyecto en estudio

Fuente: Plan de calidad del Proyecto en estudio

El plan de calidad del proyecto, describe que el proyecto cuenta con:

- Parquaderos: el proyecto contará con 200 parquaderos para residentes, 75 para visitantes, 6 para discapacitados y 80 para motos.
- Las zonas sociales están compuestas por: portería con lobby de recepción, salón social, gimnasio, baños sociales, oficina de administración, cancha múltiple cubierta, 2 áreas de Barbacoa, piscina para adultos y niños, guardería, caseta de basuras, senderos peatonales, zonas verdes y parque infantil (Plan de Calidad del Proyecto, 2017).

Proceso de acabados

La etapa de acabados en un proceso de construcción, que reúne aquellos trabajos que se realizan para dar una terminación adecuada a la obra, generando estética y capacidad de funcionamiento y habitabilidad al apartamento. Los acabados son considerados como el valor agregado que se le da al apartamento y hacen parte del nivel de satisfacción percibido del cliente final.

El proyecto en estudio tiene en su proceso de acabados, las siguientes actividades para la entrega de los apartamentos:

- Instalación de puerta principal: Se tiene previsto instalar una puerta con marco en lam. C.r.-20 hoja troquelada, cerradura y pintura 1.00x2.40 mt.

- Mampostería y pañete: pasta de cemento Portland, arena, agua y algún aditivo para dar cubrimiento y finura a los muros del apartamento. Se utilizan para cubrir en su mayoría redes de aguas negras.

- Mastuca, estuco y fondeo: Es la composición de arena con estuco que se utiliza en el muro estructural para darle una mejor terminación y nivelación. Posteriormente el fondeo es una capa de pintura que ayuda a darle una mayor protección a la mastuca y estuco aplicados con anterioridad.

- Alistado de pisos: se utilizara alistado de mortero impermeabilizado E=0.4 con alistado de pisos E=0.04.

- Carpintería de aluminio – ventanas:

- Para el área del balcón se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.0 x 1.20 la puerta ventana será corrediza sistema VC-744, vidrio 5mm.

- Para el área del balcón en la alcoba principal se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 0.98 x 1.20.

- Para el área del baño se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.0 x 0.40.

- Para el área del patio se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.40 x 0.35 – 1.40 x 0.40.

- Cielo raso: Son placas de fibrocemento prefabricado con un ancho de 1 cm.

- Enchapes: Enchape de pared JAYA Blanco 20 x30 o similar. Enchape y accesorios se instalara lavaplatos e empotrar en acero inoxidable 0.60 x 0.40.

- Instalación de pisos: piso cerámica para piso alcobas, zona de cocina, guarda escobas Portugal 42.5 x 42.5 de corona o similar. Piso para ducha cerámica natal blanco 20 x 20 o similar.

- Proceso de pintura 2

- Carpintería de aluminio – marcos:

- Para la alcoba principal se instalara marco para puerta dimensión 0.92 x 2.35 m.
- Para el baño se instalara marco en aluminio para puerta dimensión 0.70 x 2.35 m.
- Para las alcobas auxiliares se instalará marco en aluminio para puerta dimensión 0.80 x 2.35 m.
- Carpintería metálica: Puerta cortafuego con contramarco tubular de 25 x 50 x 1.50 mm, relleno interno en lana de fibra de vidrio compactada, aislante interno en fibrocemento de 6mm, doble forro laminado en hierro caliente No. 18 con baranda escalera tubo redondo aguas negras 2” calibre 16 y 1 ½” calibre 18 incluyendo anticorrosivo y pintura tipo aceite color negro, baranda tubo metálico redondo 2” calibre 16 y 3/4” calibre 18 incluyendo anclajes, anticorrosivo, pintura tipo aceite, tapa escotilla en lámina cold rolled calibre 18 soldada a marco en tubos cuadrados calibre 16 de 1.28 x 1.28 incluyendo manija externa e interna, pasador metálico y 3 bisagras
- Instalaciones eléctricas: Se realizara la instalación de: Salida para interruptor sencillo, Salida para interruptor sencillo conmutable, Salida para interruptor doble, Salida para interruptor triple, Salida para pulsador para timbre, Salida tomacorriente doble de muro 15 AMP,120 Voltios, Salida tomacorriente especial a 220 Voltios, Salida tomacorriente doble GFCI, Salida para timbre DING DONG, Montaje de tablero automático de 18 circuitos bifásico incluido breakers, Montaje de tubería PVC de 1”, Salida para antena de T.V (Solo tubería y toma), Salida para teléfono, Salida para citófono incluyendo aparato, Salida de detector de humo fotoeléctrico.
 - Proceso de pintura 3
 - Instalaciones Sanitarias:
 - Lavamanos: Con pedestal shelby blanco de alfa, incluyendo grifería. Se incluye sanitario taza campeón blanco, tanque campeón plus blanco y asiento fantasía de alfa.
 - Lavadora: Se construirá el sifón, la rejilla y la llave terminal para la instalación de lavadora (no incluye lavadora).
 - Lavaplatos: Se instalara lavaplatos de sobreponer con estufa integrada con pozuelo, acabado en acero inoxidable satinado incluyendo grifería tipo socada o similar.

- Lavadero: Prefabricado en concreto 0.50x0.60x0.24.
- Juego ducha: Sencilla de Grival, incluye registro cerámico, regadera y cuerpo metálico.
- Carpintería de madera: Se tiene previsto instalar en el apartamento el mueble inferior de cocina en madera, puerta de paso entamborada en MDF puerta tipo P2 74*1.99, tipo P3 64*1.99, tipo P4 86*1.99.
- Aseo grueso: limpieza general del apartamento.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

VSM actual

Para la elaboración del VSM actual y futuro se utilizó la metodología explicada en el artículo Análisis de cadena de valor (Cabrera, 2013) el cual proporciona un paso a paso que permite la realización de la cadena de valor utilizando como base la filosofía lean. En el libro *Mapping the Total Value Stream: A comprehensive guide for Production and transactional processes* (Nash; Poling, 2008) proporciona unos puntos clave que debe incluir el VSM que permiten que la información que quede allí registrada explique completamente el flujo de información, el flujo de proceso y las principales variables que servirán como elemento de análisis para el VSM futuro y la mejora a proponer.

Lean Construction no debe ser concebido como como un modelo en el cual se siguen unos pasos para su implementación, sino como una filosofía que genera transformación del pensamiento de la organización y que genera nuevas estrategias y herramientas que generan valor a las actividades, fases y etapas de un proyecto de construcción. Para la realización del VSM es necesario definir el proceso del proyecto en estudio y realizar el mapa de flujo de valor lo cual permitirá iniciar con el proceso elaboración del VSM actual.

Para lograr la elaboración del flujo de valor fue necesario realizar visitas a obra en las cuales inicialmente se pudiera conocer y entender el proceso macro en cada una de sus etapas. Se

generaron entrevistas con los ingenieros y arquitectos encargados de los acabados, así como con el grupo de calidad de la constructora para conocer las especificaciones técnicas definidas para cada proceso.

La toma de datos por medio de la observación directa estuvo restringida en obra por las políticas de privacidad y seguridad de la empresa, por tal razón, solo se permitió conocer del proyecto los acabados observando los resultados que se obtienen desde que empieza hasta que termina el proceso, visitando un apartamento en obra gris y otro con los acabados culminados. Por tal razón el flujo de las actividades y el proceso plasmado en el VSM fue concertado con el residente de acabados, quien fue la persona designada por la empresa para proporcionar la información.

Una vez se tenía claridad de cada etapa del proceso fue necesario programar reuniones con los equipos de compras, planeación y oficina técnica quienes proporcionaron información de cantidades, materiales, presupuesto de la obra y estructuras administrativas involucradas para el desarrollo del proceso constructivo. Esta información fue rigurosamente analizada y utilizada de manera selectiva. A continuación, se muestra en la tabla 2 la cronología de la obtención de información:

ACTIVIDAD	FECHA
Solicitud autorización de la constructora para desarrollo del trabajo de grado	Sep./3/2018
Reunión con el jefe de calidad persona designada para acompañamiento del proyecto	Oct/17/2018
Primera visita al proyecto	Nov/6/2018
Recepción de la información general del proyecto	Nov/14/2018
Primera reunión con el equipo designado por la constructora	Ene/15/2019
Visita a obra con residente de acabados para definir proceso	Feb/5/2019
Reunión con residente de acabados para indagar tiempos de los procesos	Del 25 de febrero al 2 de marzo de 2019
Reunión con residente de acabados para definir las actividades administrativas involucradas	Mar/6/2019
Reunión con la encargada de compras para solicitud de información sobre el proceso	Mar/12/2019
Reunión con encargada de la oficina técnica para conocer el proceso	Mar/21/2019
Socialización de la información obtenida con el director de proyectos	Abr/3/2019
Revisión de los tiempos de las actividades con residente de acabados por solicitud del director de proyectos	Abr/11/2019

ACTIVIDAD	FECHA
Reunión con el director de proyectos y residente de acabados para unificación de criterios	Abr/24/2019
Reunión con gerencia para solicitar autorización de entrega información técnica del proyecto	May/7/2019
Reunión con encargada de la oficina técnica para filtrar la información requerida	May/10/2019
Reunión con los integrantes del equipo de trabajo para presentar primer bosquejo de VSM actual	May/28/2019
Reunión con los integrantes del equipo de trabajo para presentar VSM actual con mejoras sugeridas	Jun/5/2019
Presentación del VSM actual al director de proyectos	Jun/14/2019
Reunión con integrantes del equipo para presentar posibles oportunidades de mejora	Sep/3/2019
Solicitud de información adicional para definir oportunidades de mejora	Sep/5/2019
Socialización de oportunidades de mejora definitivas con el equipo de trabajo	Sep/20/2019
Socialización del VSM futuro con la residente de acabados	Oct/24/2019
Socialización del VSM futuro con el director de proyectos	Nov/13/2019

Tabla 2. Descripción de actividades para recolección de datos

Fuente: Elaboración del autor

En la tabla 3 se muestra el resultante de este proceso utilizando la herramienta de análisis de procesos 5W.

ACTIVIDAD	WHAT	WHO	WHERE	WHEN	WHY
	¿Qué? Aquello sobre lo que se quiere actuar	¿Quién? Responsable de la actividad	¿Dónde? Área lugar	¿Cuándo? Planificación	¿Por qué? Con qué fin se realiza
Instalación puerta principal	Puerta con marco en lam. C.r.-20 hoja troquelada, cerradura y pintura 1.00x2.40 mt.	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Entrada principal del apartamento	Es la primera actividad del proceso, hasta que no se ponen 5 pisos no se inicia la siguiente actividad	Dar seguridad al apartamento para el desarrollo de las otras actividades
Mampostería y pañete	Pasta de cemento Portland, arena, agua y algún aditivo	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Todas las paredes y muros del apartamento	Después de la instalación de la puerta principal. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Para dar cubrimiento y finura a los muros del apartamento
Mastuca, estuco y fondeo	Esta actividad es tercerizada, se paga a todo costo. Composición de arena con estuco y pintura Tipo I Esta actividad equivale al proceso de Pintura 1	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Todas las paredes y muros del apartamento	Después de la mampostería y pañete. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Darle una mejor terminación y nivelación. Posteriormente el fondeo es una capa de pintura que ayuda a darle una mayor protección a la mastuca
Alistado de pisos	Alistado de mortero impermeabilizado E=0.4 cm con alistado de pisos E=0.04 cm.	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Toda la placa de piso del apartamento	Después de la mastuca, estuco y fondeo. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Se utiliza sobre los pisos para su nivelación y evitar o reparar filtraciones de agua que permitan el desarrollo de humedades que puedan afectar a la estructura

ACTIVIDAD	WHAT	WHO	WHERE	WHEN	WHY
	¿Qué? Aquello sobre lo que se quiere actuar	¿Quién? Responsable de la actividad	¿Dónde? Área lugar	¿Cuándo? Planificación	¿Por qué? Con qué fin se realiza
Carpintería de aluminio - Ventanas	o Para el área del balcón se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.0 x 1.20 mt la puerta ventana será corrediza sistema VC-744, vidrio 5mm. o Para el área del balcón en la alcoba principal se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 0.98 x 1.20 mt. o Para el área del baño se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.0 x 0.40 mt. o Para el área del patio se instalara una ventana de dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica de dimensión de 1.40 x 0.35 mt – 1.40 x 0.40 mt.	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Balcón principal en la sala Balcón en la alcoba principal Baños Patio	Después de alistado de pisos. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Protección contra la lluvia, estética del apartamento
Cielo rasos	placas de fibrocemento prefabricado con un ancho de 1 cm	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Alcoba principal	Después de la carpintería de aluminio - instalación de ventanas. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Estética del apartamento, según diseño
Enchapes	Pared JAYA Blanco 20 x30 cm o similar. Enchape y accesorios se instalara lavaplatos e empotrar en acero inoxidable 0.60 x 0.40 mt	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Cocina y baños	Después del cielo raso. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Protección contra humedades y estética del apartamento
Pisos	Cerámica Portugal 42.5 x 42.5 de corona o similar Piso cerámica natal blanco 20 x 20 o similar	1 Maestro de obra 1 Ayudante	alcobas, zona de cocina, guarda escobas Baños	Después de enchapes. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Protección de la placa del piso y estética del apartamento

ACTIVIDAD	WHAT	WHO	WHERE	WHEN	WHY
	¿Qué? Aquello sobre lo que se quiere actuar	¿Quién? Responsable de la actividad	¿Dónde? Área lugar	¿Cuándo? Planificación	¿Por qué? Con qué fin se realiza
Pintura 2	Esta actividad es tercerizada, se paga a todo costo. Se utiliza pintura blanca tipo I	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Todo el apartamento	Después de pisos. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Estética del apartamento, según diseño
Carpintería de aluminio - Marcos	o Para la alcoba principal se instalara marco para puerta dimensión 0.92 x 2.35 m. o Para el baño se instalara marco en aluminio para puerta dimensión 0.70 x 2.35 m. o Para las alcobas auxiliares se instalará marco en aluminio para puerta dimensión 0.80 x 2.35 m.	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Alcoba principal, baño, alcobas auxiliares	Después de pintura 2. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Para la instalación de las puertas de madera
Carpintería metálica	Puerta cortafuego con contramarco tubular de 25 x 50 x 1.50 mm, relleno interno en lana de fibra de vidrio compactada, aislante interno en fibrocemento de 6mm, doble forro laminado en hierro caliente No. 18 con baranda escalera tubo redondo aguas negras 2" calibre 16 y 1 1/2" calibre 18 incluyendo anticorrosivo y pintura tipo aceite color negro, baranda tubo metálico redondo 2" calibre 16 y 3/4" calibre 18 incluyendo anclajes, anticorrosivo, pintura tipo aceite, tapa escotilla en lámina cold rolled calibre 18 soldada a marco en tubos cuadrados calibre 16 de 1.28 x 1.28 incluyendo manija externa e interna, pasador metálico y 3 bisagras	1 Maestro de obra 5 Ayudante	Balcón principal en la sala Balcón en la alcoba principal	Después de carpintería de aluminio - instalación de macos. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Por seguridad para el cliente y los habitantes del apartamento. Estética de apartamento

ACTIVIDAD	WHAT	WHO	WHERE	WHEN	WHY
	¿Qué? Aquello sobre lo que se quiere actuar	¿Quién? Responsable de la actividad	¿Dónde? Área lugar	¿Cuándo? Planificación	¿Por qué? Con qué fin se realiza
Instalaciones eléctricas	Salida para interruptor sencillo, Salida para interruptor sencillo conmutable, Salida para interruptor doble, Salida para interruptor triple, Salida para pulsador para timbre, Salida tomacorriente doble de muro 15 AMP, 120 Voltios, Salida tomacorriente especial a 220 Voltios, Salida tomacorriente doble GFCI, Salida para timbre DING DONG, Montaje de tablero automático de 18 circuitos bifásico incluido breakers, Montaje de tubería PVC de 1", Salida para antena de T.V (Solo tubería y toma), Salida para teléfono, Salida para citófono incluyendo aparato, Salida de detector de humo fotoeléctrico.	1 Maestro de obra 5 Ayudante	Todo el apartamento	Después de carpintería metálica. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Se instalan para poder dar uso a las instalaciones eléctricas de manera segura. Estética del apartamento
Pintura 3	Esta actividad es tercerizada, se paga a todo costo. Se utiliza pintura blanca tipo I	1 Maestro de obra 1 Ayudante	Todo el apartamento	Después de instalaciones eléctricas. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Estética del apartamento, según diseño

ACTIVIDAD	WHAT	WHO	WHERE	WHEN	WHY
	¿Qué? Aquello sobre lo que se quiere actuar	¿Quién? Responsable de la actividad	¿Dónde? Área lugar	¿Cuándo? Planificación	¿Por qué? Con qué fin se realiza
Instalaciones hidrosanitarias	<p>o Lavamanos: Con pedestal shelby blanco de alfa, incluyendo grifería. Se incluye sanitario taza campeón blanco, tanque campeón plus blanco y asiento fantasía de alfa.</p> <p>o Lavadora: Se construirá el sifón, la rejilla y la llave terminal para la instalación de lavadora (no incluye lavadora).</p> <p>o Lavaplatos: Se instalara lavaplatos de sobreponer con estufa integrada con pozuelo, acabado en acero inoxidable satinado incluyendo grifería tipo socada o similar.</p> <p>o Lavadero: Prefabricado en concreto 0.50x0.60x0.24 m.</p> <p>o Juego ducha: Sencilla de Grival, incluye registro cerámico, regadera y cuerpo metálico.</p>	1 Maestro de obra 3 Ayudante	Baños Cocina Patio	Después de pintura 3. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Dar funcionalidad a los baños, la zona de lavandería y la cocina
Carpintería de madera	mueble inferior de cocina en madera, puerta de paso entamborada en MDF Puerta tipo P2 74*1.99, tipo P3 64*1.99, tipo P4 86*1.99.	1 maestro de obra	Cocina Alcoba principal Alcobas auxiliares	Después de instalaciones hidrosanitarias. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	Estética del apartamento, según diseño
Aseo grueso	Implementos de aseo	1 Auxiliar de servicios generales	Todo el apartamento	Después de carpintería de madera. Avance 2 pisos para iniciar la siguiente actividad	El aseo se realiza para la inspección final que realiza la residente para entrega del apartamento a Post venta

Tabla 3. Herramienta 5W aplicada a la situación actual

Fuente: Elaboración del autor - datos tomados del proceso constructivo en estudio

Los datos proporcionados fueron trabajados para determinar los indicadores que están en las cajas de información del VSM y posteriormente para la simulación. Es importante resaltar que no toda la información suministrada como “históricos” de la obra se tuvo en cuenta, ya que al realizar su respectivo análisis carecía de veracidad y provocaría un mapeo erróneo de la situación actual del proceso de acabados del proceso constructivo.

Para el desarrollo y la elaboración del VSM se creó un grupo interdisciplinario conocedor del proceso compuesto por: Residente de acabados en obra, ingeniera de planeación, ingenieros de calidad y auxiliar de compras. Con gran dificultad se lograba sincronizar los tiempos de los integrantes del equipo, si bien se tenía la directriz de la gerencia de apoyar el desarrollo de la investigación, al no ser un proyecto directo de la constructora, no era una prioridad y los integrantes no disponían del tiempo para hacer reuniones grupales, como normalmente se construye un VSM.

Para hacer la socialización de los conceptos *lean*, *lean construction* y *value stream mapping* se organizó un material en el que se explicaba y documentaba al grupo qué era, para qué servía, cómo se construía y qué beneficios se pueden conseguir a través de su implementación y análisis.

Una vez el equipo fue capacitado y se tenía el conocimiento pleno del proceso constructivo en estudio, se procedió a construir el VSM actual y se iba realizando la socialización de los adelantos de manera individual, para poder contar con información veraz y de primera mano; a su vez se iban realizando los ajustes pertinentes, de acuerdo a las apreciaciones e información suministrada por cada integrante del grupo.

De esta manera se garantiza que el equipo de apoyo, seleccionado por la constructora, estaba capacitado, con el conocimiento e información de la realidad, permitiendo unificar criterios y construir el VSM actual.

A continuación, en la Tabla 4 se relacionan los datos utilizados para la elaboración del VSM y los indicadores utilizados para su análisis y simulación:

Descripción Actividad	Tiempo Real (Hr)	Tiempo Teórico (Hr)	Tiempo Muerto (Hr)	Tiempo Productivo (Hr)	Cantidad Mano De Obra	Eficiencia	Up Time
Instalación puerta principal	0,5	0,2	0,2	0,3	2	44%	63%
Mampostería y pañete	8,0	3,8	2,0	6,0	2	48%	75%
Mastuca, estuco y fondeo	32,0	4,4	8,0	24,0	2	14%	75%
Alistado de pisos	8,0	4,3	1,0	7,0	2	54%	88%
Carpintería de aluminio Ventanas	8,0	3,0	0,7	7,3	2	38%	92%
Cielo rasos	2,7	2,3	0,3	2,3	2	88%	88%
Enchapes	8,0	4,0	2,0	6,0	2	50%	75%
Pisos	24,0	8,0	5,5	18,5	2	33%	77%
Pintura 2	24,0	4,0	8,3	15,7	2	17%	65%
Carpintería de aluminio Marcos	2,7	2,0	0,4	2,3	2	75%	84%
Carpintería metálica	1,0	0,8	0,3	0,7	6	75%	67%
Instalaciones eléctricas	3,0	2,5	0,8	3,3	6	80%	75%
Pintura 3	24,0	2,0	8,3	15,7	2	8%	65%
Instalaciones hidrosanitarias	2,0	1,5	0,8	1,3	4	75%	63%
Carpintería de madera	2,0	1,5	0,6	1,4	1	75%	71%
Aseo grueso	24,0	2,0	0,5	23,5	1	8%	98%

Tabla 4. Información utilizada para construcción del VSM.

Fuente: Elaboración del autor - datos tomados del proceso constructivo en estudio

La tabla 4 fue elaborada con los tiempos socializados con la residente de acabados, ya que, al analizar la información suministrada por la constructora, de las torres que ya habían culminado el proceso de acabados, se descartó la utilización de estos datos, toda vez que no coincidían con la realidad y lo que ya se había observado y analizado en obra.

El VSM se caracteriza por ser muy gráfico y básico en su presentación; está compuesto por diferentes íconos que permiten entender y visualizar la información contenida. Los íconos utilizados para la elaboración del VSM están relacionados en la tabla 5:




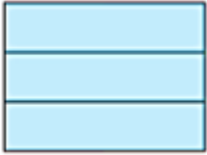






Descripción	Ícono	Descripción	Ícono
Control de proceso		Proceso con información	
Proveedores		Casillas de Información	
Inventarios		Kaizen	
Flujo de información electrónica		Flujo del proceso Push	
Línea de tiempo		Mano de obra	

Tabla 5. Íconos utilizados en la construcción del VSM actual y futuro.

Fuente: Elaboración del autor

Adicionalmente, en el VSM se incluyeron los procesos administrativos desarrollados por la oficina técnica y compras. Una de las más grandes limitaciones fue no contar con la información de los proveedores, pues el VSM se caracteriza por incluir el análisis de la cadena de suministro por cláusulas de confidencialidad de la constructora. Por lo tanto, se suministra en el VSM la información básica y a la que se tuvo acceso de la cadena de suministro del proceso de acabados. En la imagen 3 se puede visualizar el resultado obtenido de la construcción del VSM actual:

Nota: El plotter del VSM actual se encuentra en los anexos.

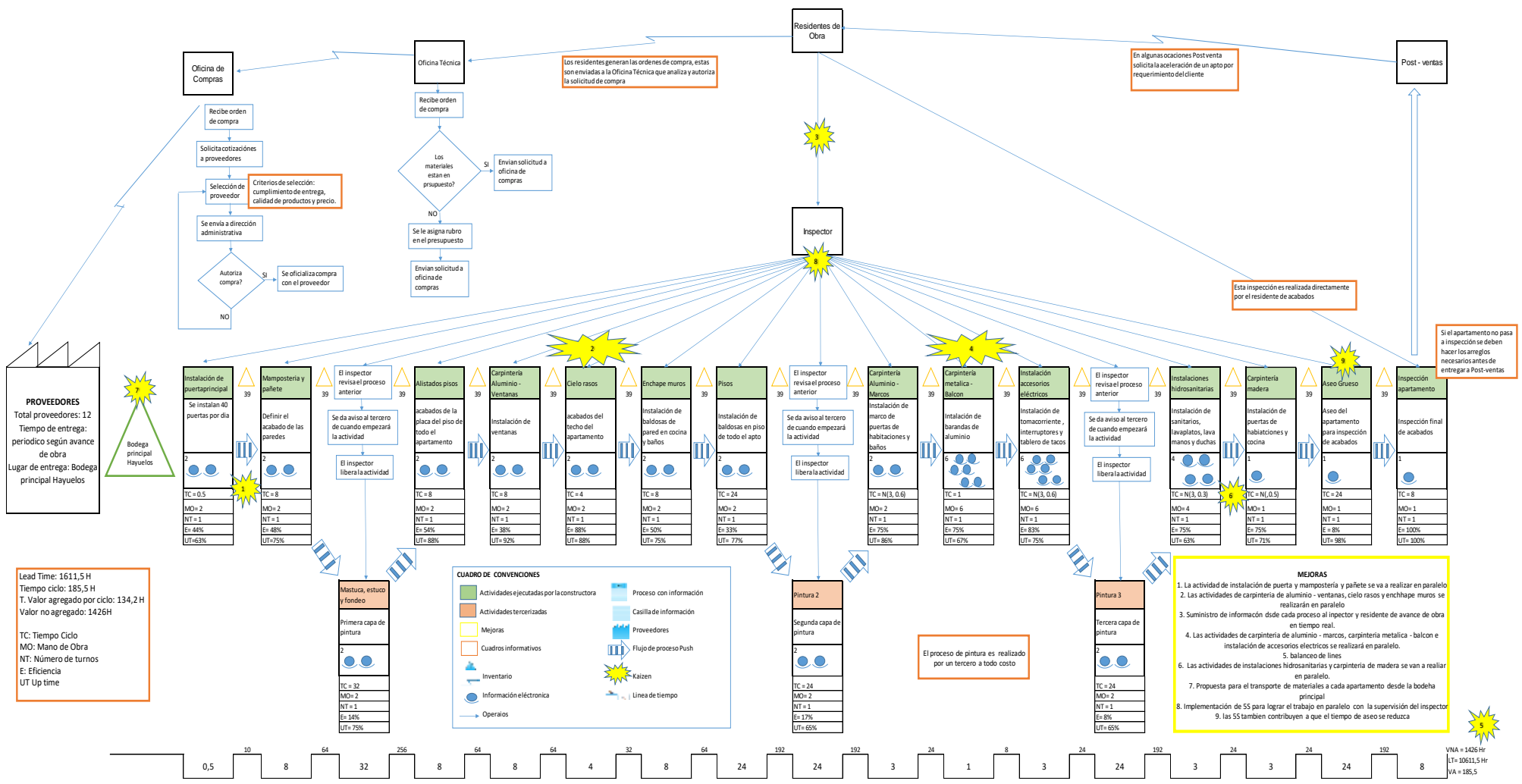


Imagen 3. VSM actual.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

Simulación en Promodel del VSM actual

La simulación en Promodel se realiza con el fin de verificar el comportamiento de las variables e indicadores utilizados en el VSM actual. Promodel es un Software de simulación con animación, permite simular cualquier tipo de proceso productivo y no requiere programación compleja, lo que lo convierte en un software fácil de utilizar y flexible para simular modelos complejos.

Los datos utilizados para la simulación procesos, materiales, cantidades de materiales, mano de obra y tiempos están relacionados en la tabla 6, que se presenta a continuación:

En la imagen 4 se presenta el layout de la simulación en Promodel del VSM actual, se puede visualizar la evolución del proceso constructivo en el apartamento, relacionando los colores de las actividades con los colores que se van identificando en el plano del apartamento ubicado en la parte inferior a medida que avanza la simulación, haciendo referencia a los cambios que presenta el apartamento y la distribución de los operarios en cada actividad.

Una vez terminada la simulación se concluye que el tiempo de valor no agregado es 6.5 veces mayor en proporción al tiempo de valor agregado lo que denota que el proceso tiene desperdicios que lo hacen menos eficiente.

PROCESOS Y MATERIALES	UND DE MEDIAD	TIEMPO (Hr)/ APTO	MANO DE OBRA	CANTIDAD MATERIAL/ APTO	PROCESOS Y MATERIALES	UND DE MEDIAD	TIEMPO (Hr)/ APTO	MANO DE OBRA	CANTIDAD MATERIAL/ APTO
Instalación puerta principal		0,5	2		Instalaciones eléctricas		4	6	
Puerta con marco en lam. C.r.-20 hoja troquelada, cerradura y pintura 1,00x2,10 Mt - entrada principal	Un			1	Botón timbre sencillo	Un			1
Mamposería y pañete		8	2		BREAKER ENCHUFABLE 2x20a	Un			3
Cemento gris	KG			94,5	Citófono auta compact digital básico	Un			1
Sika 101 mortero (blanco)	KG			6,9	Interruptor automático enchufable 1x20 A	UN			5
Sika 101 mortero (gris)	KG			5	Interruptor conmutable sencillo	Un			2
Cartera inferior para vanos	ML			46,6	Interruptor conmutable triple	Un			1
Mastuca, estuco y fondeo		32	2		Interruptor doble	Un			2
Se paga al contratista a todo costo					Interruptor sencillo	Un			8
Alistado de pisos		8	2		Timbre y campana	Un			1
Lámina de icopor e= 1 cm	Un			3	Toma coaxial para tv	Un			3
Cemento gris	KG			722,8	Toma teléfono	Un			1
Carpintería de aluminio - Ventanas		8	2		Tomacorriente doble	UN			14
Puerta ventana corrediza sistema vc-744, en aluminio anodizado natural y vidrio 5mm, dos hojas una fija y la otra corrediza - 2,0x2,17 Mt	Un			1	Tomacorriente gfci doble	Un			3
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3825 - 1,0x1,20 Mt	Un			2			24	2	
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826 ,098x1,2 Mt	Un			1	Pintura 3				
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826, 1,0x0,40 Mt	Un			2	Se paga al contratista a todo costo				
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826, 1,40x0,35 Mt	Un			1	Instalaciones hidrosanitarias		2	4	
Cielo rasos		2,7	2		Acople lavamanos	Un			4
Cielo raso plano drywall Mt2	M2			4	Lavamanos con pedestal Shelby blanco ALFA, incluye grifería	Un			2
Muro superboard doble cara	M2			3	Acople flexible sanitario	Un			2
Recubrimiento en superboard 6mm con una cara terminada	M2			1	Combo laguna con pedestal	Un			2
S/i fondeo y graniplast sobre el pañete	M2			1	Sikaflex 1a blanco	Un			2
Enchapes		8	2		Kit ducha aquarius metalfor rf. 582405-581375	Un			2
Binda boquilla	KG			4,03	Escudo plano grival tubo regadera cromado ref. 011380001	Un			1
Enchape pared jaya blanco 20x30 cm corona	M2			15,2	Llave terminal metálica 1/2" lavadora	Un			1
Pegante para Cerámica	KG			85,5	Rejilla sosco 3x2 cm	Un			1
Tapa registro 15x15 cm plástico	Un			1	Conjunto llave para lavaplatos cuello ganso sencillo (incl. Canastilla, sifón y acople)	Un			1
Nomenclatura apartamento 0,06x0,17 Mts en acero Cal 16. Pintado en electroestática e instalado	Un			1	Grifería Galaxia	Un			1
Pisos		24	2		Mesón ar 1.50 gas-4pds ee gn inox haceb	Un			1
Enchape piso natal blanco 20x20 cm corona	M2			2,2	Sifón mas canastilla para lavaplatos	Un			1
Binda boquilla	KG			7,9	Lavadero prefabricado en concreto .50x.60x.24 Mt				0
Enchape de piso Murano 45x45 cm	M2			63,9	Escudo plano grival tubo regadera cromado ref. 011380001	Un			1
Pegante para Cerámica	KG			504,9	Lavadero tipo fregadero 60x48en fibra de vidrio	Un			1
Pintura 2		24	2		Llave terminal metálica 1/2" lavadora	Un			1
Se paga al contratista a todo costo					Carpintería de madera		2	1	
Carpintería de aluminio - Marcos		2,7	2		Mueble inferior de cocina en madera	Un			1
Marco en aluminio para puerta 0,80x2,35 m	Un			2	Cerradura acceso	Un			2
Marco en aluminio para puerta 0,70x2,35 m	Un			2	Puerta batiente entamborada melamina horizontal 0.74*1.99 Mt	Un			2
Marco en aluminio para puerta 0,92x2,35 m	Un			1	Cerradura baño	Un			2
Carpintería metálica		1	6		Puerta batiente entamborada melamina horizontal 0.64*1.99 Mt	Un			2
Cemento gris	KG			11,8	Cerradura acceso	Un			1
Baranda tubo metálico redondo 2** cal. 16 y 3/4** cal, 18. Incluye anclajes, anticorrosivo y pintura tipo aceite	ML			4	Puerta batiente entamborada melamina horizontal 0.86*1.99 Mt	Un			1
					Aseo grueso		24	1	

Tabla 6. Datos de simulación de VSM actual en Promodel.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio



Imagen 4. Simulación del VSM actual en Promodel.

Fuente: datos programados sujetos a los datos obtenidos del proceso constructivo

Oportunidades de mejora lean

Teniendo claridad y veracidad frente al diseño del VSM actual, se realizó su simulación para validar comportamientos, analizando las respectivas variables del tiempo de ciclo, el número de operarios, la eficiencia y el lead time. Este análisis brinda luz sobre las posibles tácticas a esbozar para mejorar el rendimiento del proceso de acabados en estos multifamiliares.

Las oportunidades de mejora están basadas en los pilares de la filosofía lean, utilizando herramientas propias de la filosofía y otras de la ingeniería que permiten lograr la disminución de los desperdicios, aprovechamiento de los recursos y mejoramiento de los tiempos de entrega:

1. Aprovechamiento las precedencias de las actividades.
2. Balanceo de la línea del proceso constructivo de acabados
3. Obtención de información en tiempo real - Construcción 4.0
4. Implementación 5S en el proceso de acabados
5. Manejo y manipulación de materiales

1. Aprovechamiento de la precedencia de las actividades

Uno de los pilares de la filosofía Lean es flujo continuo, para lograrlo en el proceso constructivo en estudio se determina la elaboración de un diagrama de precedencia utilizando la técnica PERT. El diagrama de precedencia es una herramienta utilizada en la programación de actividades para planear de manera óptima la ejecución de un proyecto. Es un método en el que se construye un diagrama de red, utilizando unas cajas denominadas nodos, las cuales representan las actividades y se conectan con arcos o flechas entre sí, mostrando la dependencia de cada actividad. Con la aplicación de la técnica PERT se puede lograr: buscar el plazo mínimo de ejecución del proceso, identificar actividades críticas, detectar y cuantificar la holgura de las actividades no críticas y buscar el flujo continuo en el proceso (Acosta, 2001).

A continuación, se muestra en la tabla 7 las precedencias de las actividades que componen el proceso constructivo:

Actividad	Código actividad	Tiempo (Min)	Precedente
Instalación puerta principal	A	0.5	
Mampostería y pañete	B	8.0	
Mastuca, estuco y fondeo	C	32.0	A - B
Alistado de pisos	D	8.0	C
Carpintería de aluminio - Ventanas	E	8.0	D
Cielo rasos	F	4.0	D
Enchapes	G	8.0	D
Pisos	H	24.0	E - F - G
Pintura 2	I	24.0	H
Carpintería de aluminio - Marcos	J	3.0	I
Carpintería metálica	K	1.0	I
Instalaciones eléctricas	L	3.0	I
Pintura 3	M	24.0	J - K - L
Instalaciones hidrosanitarias	N	3.0	M
Carpintería de madera	O	3.0	M
Aseo grueso	P	24.0	N - O
Inspección postventa	Q	8.0	P
TOTAL		185.5	

Tabla 7. Precedencia de actividades de la etapa de acabados.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

Teniendo en cuenta la tabla 7 se realizó el siguiente diagrama (ver imagen 5), que servirá como guía para la elaboración de VSM futuro:

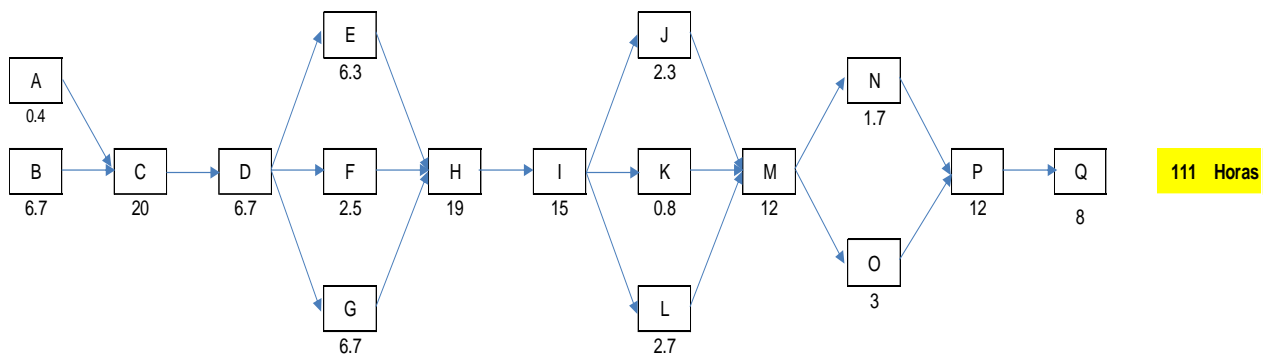


Imagen 5. Diagrama de precedencia proceso de acabados con datos de la situación actual.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

2. Balanceo de la línea del proceso constructivo de acabados

El balanceo de líneas de producción es una herramienta que consiste en igualar los tiempos de trabajo en todas las actividades del proceso, agrupando las actividades secuenciales de trabajo en centros de trabajo, con el fin de lograr la optimización de la mano de obra, equipos y costos; logrando de esta forma reducir o eliminar los desperdicios del proceso constructivo (Paredes, 2017).

El balanceo fue realizado en Excel, utilizando como propuesta el proceso modificado que genero la realización del diagrama PERT y la herramienta de análisis Solver, la cual permite maximizar o minimizar el valor de determinadas celdas teniendo en cuenta las restricciones y variables que tiene el modelo en estudio. Básicamente es una herramienta que contiene Excel para dar solución a problemas de programación lineal.

En este caso, se buscó la maximización del tiempo de línea para lograr la mejor eficiencia del proceso, con el número de operarios adecuado de cada actividad, teniendo en cuenta la unificación de actividades que se generó de la elaboración del diagrama PERT.

En la imagen 6 se presenta el balanceo realizado, teniendo en cuenta un *batch* de 1 apartamento y cada turno de 8 horas. Consta de 4 partes:

1. Situación actual: Se describe el proceso tal cual es realizado en la actualidad, consta de 16 etapas, 40 operarios y el tiempo ciclo es de 5969 minutos /batch; con un eficiencia del 10%.
2. Diseño propuesto según el diagrama PERT: Se describe el proceso con las agrupaciones de algunas actividades para trabajo en paralelo, consta de 10 etapas, 40 operarios, y el tiempo ciclo es de 4495 min/batch; con una eficiencia del 12%.
3. diseño propuesto balanceado: Este es el modelo optimizado por Solver, consta de 10 etapas, 30 operarios y el tiempo ciclo es de 3537 min/batch; con una eficiencia del 33%.
4. Diseño propuesto balanceado ajustado a la realidad: Este modelo se realizó basado en el resultado del diseño propuesto balanceado, se le realizan algunas modificaciones ya que con los 30 operarios del modelo no se alcanzan a cubrir las actividades de acuerdo a las

exigencias técnicas y metodológicas de cada una. Este diseño consta de 10 etapas, 33 operarios y el tiempo ciclo es de 3099 min/batch; con una eficiencia del 20%.

Al realizar el balanceo de las actividades se logró mejorar la eficiencia del proceso, al ser éste un proceso constructivo y que tiene ciertos parámetros que restringen las actividades ya sea por el tipo de proceso, su exigencia o las especificaciones técnicas de la constructora para el mismo.

Descripción De Variables	Situación actual		Situación propuesta		Situación Propuesta balanceada		situación propuesta balanceada - modificada	
		Min. / Batch		Min. / Batch		Min. / Batch		Min. / Batch
Total tiempo ciclo	6009	Min. / Batch	4509	Min. / Batch	3561	Min. / Batch	3115	Min. / Batch
Circo ce control	1440	Min. / batch	960	Min. / batch	356	Min. / batch	480	Min. / batch
Operarios	40		40		30		33	
Tiempo total línea: (ciclo control) * (#operarios)	57600		38400		10647		15840	
Etapas	16		10		10		10	
Eficiencia Balanceo: $\frac{\text{Total tiempo ciclo}}{\text{Tiempo total línea}}$	10%		12%		33%		20%	

Tabla 8. Análisis de variables del balanceo del proceso.

Fuente: elaboración del autor

En la tabla 8 se puede evidenciar la mejora en la eficiencia del proceso del 10% al 20%. Aunque la mejora del proceso con el balanceo es del 33%, esta solución no puede ser tomada ya que el número de operarios que arroja como óptimo no es suficiente para cumplir con el proceso metodológico constructivo del apartamento.

Min. / Batch	Proceso	Situación actual			Min. / Batch	Proceso	Diseño propuesto			Diseño propuesto - Balanceado			Diseño propuesto balanceado - Modificado		
		Estandar / recurso	Operadores	Batch / Min.			Estandar / recurso	Operadores	Batch / Min.	Estandar / recurso	Operadores	Batch / Min.	Estandar / recurso	Operadores	Batch / Min.
27	1 Instalación de puertas	14	2,0	0,148	507	1 Instalación de puertas y mampostería - pañete	127	4,0	0,032	356	1,4	0,004	169	3,0	0,018
480	2 Mampostería y pañete	240	2,0	0,008	1920	2 Mastuca, estuco y fondeo	960	2,0	0,002	356	5,4	0,015	480	4,0	0,008
1920	3 Mastuca, estuco y fondeo	960	2,0	0,002	480	3 Alistado de pisos	240	2,0	0,008	356	1,3	0,004	240	2,0	0,008
480	4 Alistado de pisos	240	2,0	0,008	1200	4 Carpintería de aluminio - Ventanas cielos razos Enchapes muros	200	6,0	0,030	356	3,4	0,009	240	5,0	0,021
480	5 Carpintería de aluminio - Ventanas	240	2,0	0,008	1440	5 Pisos	720	2,0	0,003	356	4,0	0,011	480	3,0	0,006
240	6 Cielo rasos	120	2,0	0,017	1440	6 Pintura 2	720	2,0	0,003	356	4,0	0,011	480	3,0	0,006
480	7 Enchape muros	240	2,0	0,008	420	7 Carpintería aluminio - Marcos Carpintería metálica - balcon Instalación accesorios eléctricos	30	14,0	0,467	356	1,2	0,003	70	6,0	0,086
1440	8 Pisos	720	2,0	0,003	1440	8 Pintura 3	720	2,0	0,003	356	4,0	0,011	480	3,0	0,006
1440	9 Pintura 2	720	2,0	0,003	360	9 Sanitarios Carpintería de madera	72	5,0	0,069	356	1,0	0,003	120	3,0	0,025
180	10 Carpintería aluminio - Marcos	90	2,0	0,022	1440	10 Aseo grueso	720	2,0	0,003	356	4,0	0,011	356	1,0	0,003
60	11 Carpintería metálica - balcon	10	6,0	0,600											
180	12 Instalación accesorios eléctricos	30	6,0	0,200											
1440	13 Pintura 3	720	2,0	0,003											
180	14 Sanitarios	45	4,0	0,089											
180	15 Carpintería de madera	180	1,0	0,006											
1440	16 Aseo grueso	1.440	1,0	0,001											

Imagen 6. Balanceo del proceso de acabados.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

3. Obtención de información en tiempo real - Construcción 4.0

La construcción 4.0 es un concepto nuevo que surgió de la ya conocida cuarta revolución industrial, Industria 4.0. Este concepto se basa en ver las obras como fábricas y los que procesos constructivos se conviertan en procesos productivos, con el fin de buscar que cada uno de estos sea industrializado (La Nación, 2017).

La mejora propuesta está basada en buscar el incremento de la productividad por medio de la toma de decisiones utilizando información en tiempo real. Para esto, se creó un *Dashboard* que brindará en tiempo real información por torre y/o apartamento acerca de duración de cada actividad, interferencias, mano de obra, eficiencia en el proceso y avance de obra

Para el dimensionamiento del archivo en Excel que genera el *Dashboard* se consideró el uso de una aplicación de celular llamada *Scan It to office*, este es un aplicativo móvil que permite la lectura de códigos de barras, códigos QR, imágenes, entre otras. Una vez realiza la lectura transfiere inmediatamente la información a cualquier aplicación de escritorio (Windows o macOS) (Lector de código de barras y captura de datos, 2020). En este caso la lectura genera los datos como un valor único en una celda de Excel. Con esta información que llega al archivo de Excel, se activan macros que dividen la información en diferentes columnas y calculan datos como tiempos de duración y eficiencia esto a medida que se va ingresando la información en tiempo real.

Los múltiples usuarios que tengan acceso a la aplicación ingresarán los datos al inicio y al final de la actividad así como las interferencias que se presenten en cada uno de los trabajos por medio de un formulario único diseñado para la alimentación de la base de datos a través del celular (ver imagen 7). Una vez el usuario ingresa el dato de la actividad a realizar en alguno de los apartamentos el archivo captura la hora de envío de la información y lo toma como hora de inicio o como hora fin de acuerdo a la selección que se haya realizado en el formulario diseñado en el aplicativo.



Imagen 7. Formulario diseñado para la captura de datos en el aplicativo móvil Scan It To Office

Fuente: Aplicativo móvil Scan It to Office – diseño del formulario, el autor

Al detectar si el tiempo es de inicio o de fin, la macro en Excel ordena los datos de la actividad y calcula los tiempos de duración y la eficiencia de acuerdo con el tiempo total teórico de la actividad ingresada.

La base de datos tendrá un identificador de la completitud de la información, este indicador seleccionará los datos que se presentarán en el *Dashboard*. Toda esta información puede ser consultada en tiempo real a través de códigos especiales que el usuario ingresará por medio del aplicativo y podrá mediante este código obtener una impresión en tiempo real al correo electrónico del *Dashboard* que se está dimensionado, se pueden mostrar diferentes indicadores de acuerdo con la solicitud gerencial o necesidad de la obra.

En este caso se crearon códigos QR para la lectura desde el aplicativo móvil dividiéndolos así: actividad, torre, piso-apartamento e interferencia. Estos códigos QR fueron generados a través de Excel por medio de una macro (ver imagen 9).

Para verificar la funcionalidad del *Dashboard*, la base de datos fue alimentada con una simulación de datos que se asemejan a la realidad del proceso constructivo. En la imagen 8 se encuentra el diseño propuesto para el *Dashboard*, este contiene:

1. Avance del apartamento que están trabajando en el momento
2. Selección del mes y la torre
3. Duración de cada actividad en un apartamento específico
4. Comparativo entre duración e interferencia por torre de cada actividad, en el mes y torre seleccionada en 2
5. Eficiencia en cada actividad por torre, en el mes y torre seleccionada en 2.
6. Duración en cada actividad por torre, en el mes y torre seleccionada en 2.
7. Cantidad de mano de obra utilizada en cada actividad, en el mes y torre seleccionada en 2.

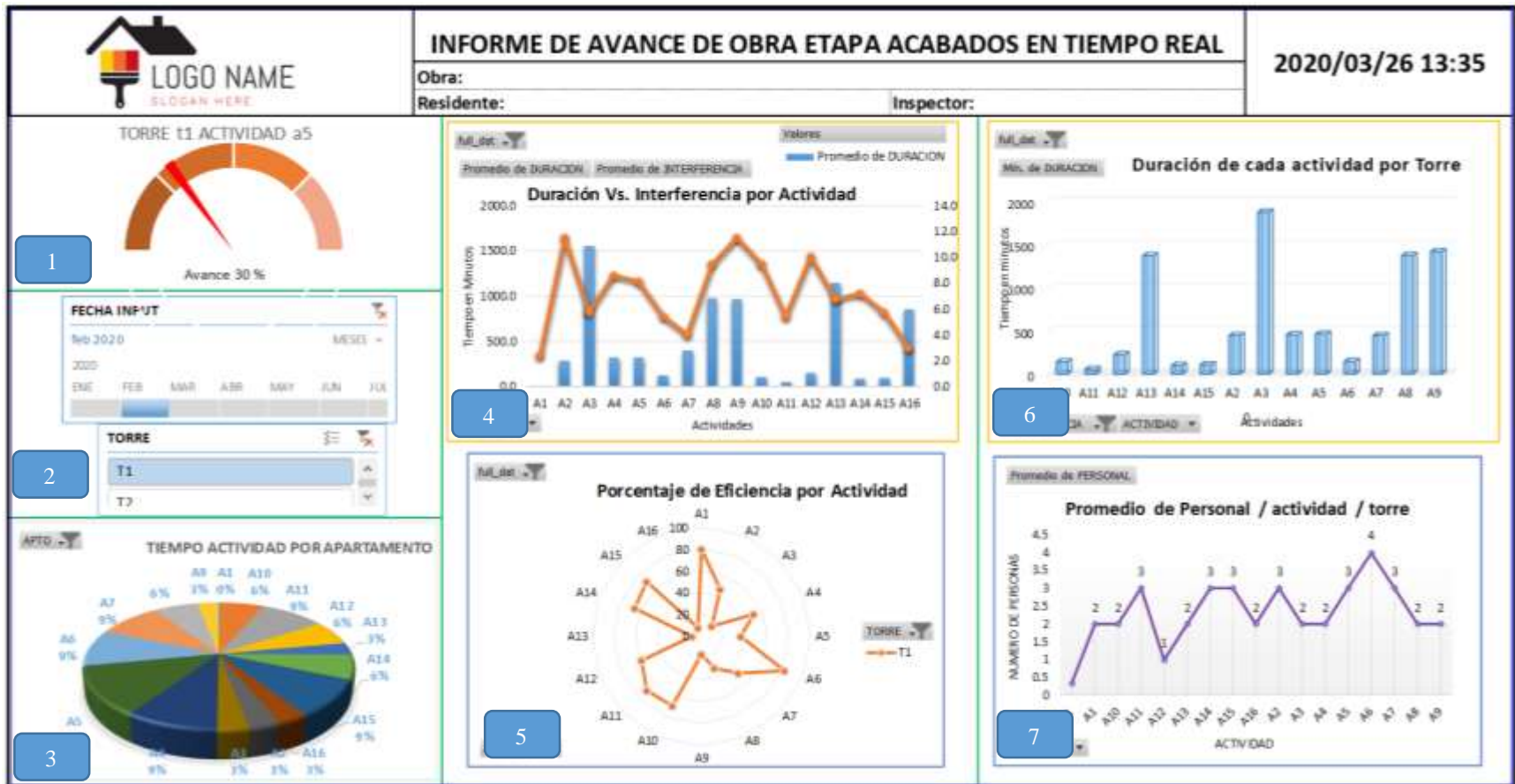


Imagen 8. Ejemplo Dashboard en tiempo real proceso de acabados.

Fuente: elaboración del autor

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	No.	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	No.	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	No.	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	No.	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	No.
A1		1	A16		16	T11		11	303		46	702		41
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A2		2	A17		17	T12		12	304		47	703		42
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A3		3	A18		18	T13		13	401		48	704		43
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A4		4	T1		19	T14		14	402		49	801		44
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A5		5	T2		20	T15		15	403		50	802		45
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A6		6	T3		21	101		26	404		51	803		46
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A7		7	T4		22	102		27	501		52	804		47
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A8		8	T5		23	103		28	502		53	901		48
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A9		9	T4		24	104		29	503		54	902		49
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A10		10	T5		25	201		30	504		55	903		50
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A11		11	T6		26	202		31	601		56	904		51
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A12		12	T7		27	203		32	602		57	1001		52
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A13		13	T8		28	204		33	603		58	1002		53
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A14		14	T9		29	301		34	604		59	1003		54
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		
A15		15	T10		30	302		35	701		60	1004		55
qrCode			qrCode			qrCode			qrCode			qrCode		

Imagen 9. Códigos QR generados para recolección de información en tiempo real

Fuente: Elaborado por el autor.

4. Implementación 5S en el proceso de acabados

Uno de los procesos más demorados encontrados es el aseo grueso, esta actividad la realiza una sola persona y en la situación actual tiene una duración de 3 horas. Por ser la última actividad del proceso y no interferir en el desarrollo del flujo del proceso, no es viable poner más personas que la realicen.

Se encuentra que la manera de mejorar la productividad de esta actividad es implementando las 5S en cada área de trabajo. Se propone un formato que maneje el inspector y que haga parte de la revisión que este realiza al terminar cada actividad, de esta forma se garantice que cada equipo de trabajo que interviene en el proceso de acabados en cada apartamento, lo deja en las mejores condiciones posibles, de tal manera que la persona que realice el aseo grueso tenga un mayor rendimiento en su actividad.

Adicionalmente, al llevar todos los materiales más pesados a cada piso bajo custodia del inspector de acabados, será necesaria la optimización del área de trabajo la limpieza y el orden de la misma con el fin de no tener daños en los materiales ni en los procesos ya adelantados.

Las 5S es una metodología creada por Toyota en los años 60, que agrupa una serie de actividades con el objetivo de tener un lugar de trabajo organizado, ordenado y limpio. Este es un proceso de adaptación de las personas que se involucran en el cambio, en el que cada uno debe comprometerse y cambiar sus hábitos de comportamiento, logrando un lugar de trabajo más productivo (Ingeniería industrial online, 2020). En la imagen 10 se traduce cada una de las 5S:



Imagen 10. Descripción de las 5S.

Fuente: Ingeniería Industrial online – Diseño: el autor

Es importante resaltar, que la utilización de esta metodología también contribuye de manera importante en el desarrollo del modelo propuesto según el diagrama PERT, pues una de las restricciones expuesta por el residente de acabados es que, al intentar trabajar más de un equipo de trabajo en un apartamento, se podrían presentar daños en las actividades ya culminadas o en la actividad en desarrollo y pérdida de materiales de otros equipos de trabajo. En la tabla 9 se presenta el proceso de implementación adecuado para el proceso:

Actividades	PARALELO 1		PARALELO 2			PARALELO 3			PARALELO 4	
	A	B	E	F	G	J	K	L	M	N
5S	Para una implementación óptima es necesario realizar a los equipos de trabajo talleres didácticos en los que se les explique la metodología									
Seiri	Clasificar los materiales en uso, escombros y sobrantes									
Seiton	Establecer una zona en la que se realizará el acopio de materiales sobrantes, en uso y escombros Ordenar las herramientas y equipos de cada grupo de trabajo									
Seiso	Demarcar las zonas establecidas para cada tipo de material y promover la limpieza de las mismas una vez terminadas utilizando la gestión visual									
Seiketsu	Realizar los procedimientos del paso a paso para cada actividad Socializar y entrenar a los equipos de trabajo en cómo se realizará la implementación, las zonas y demarcación que se ha hecho previamente en las áreas de trabajo para poder generar hábito									
Shitsukke	Reuniones semanales con el equipo de trabajo de acabados para identificar las fallas en el proceso, los equipos menos comprometidos o los conceptos a reforzar para que la metodología perdure en el tiempo									

Tabla 9. Metodología de implementación 5S en el proceso constructivo de Acabados

Fuente: elaboración del autor.

A continuación, se muestra la tabla 10 con el modelo de lista de chequeo propuesto para el proceso de acabados:

PROCESO DE ACABADOS - CHECKLIST 5S			
Actividad _____		fecha: _____	
Encargado _____		Torre y Apto _____	
5S	Preguntas	SI	NO
SEIRI - CLASIFICAR	¿Las herramientas necesarias para el desarrollo de la actividad están organizadas?		
	¿Se generó algún daño durante el desarrollo de la actividad?		
	¿Se tiene material sobrante de la actividad?		
	¿Se encuentran herramientas que no pertenecen al desarrollo de la actividad?		
	¿Se encontró con algún material deteriorado o dado?		
SEITON - ORDENAR	¿Dispone de un recipiente adecuado para guardar las herramientas necesarias?		
	¿Los operarios tienen todas sus herramientas de trabajo en el lugar indicado?		
	¿Utiliza identificación visual para las herramientas utilizadas?		
	¿Tiene despejada el área de trabajo utilizada?		
	¿Los operarios no afectan con sus herramientas otras áreas de trabajo?		
SEISO - LIMPIAR	¿El área de trabajo se percibe limpia?		
	¿Los operarios limpiaron las áreas adicionales que hayan afectado con la actividad?		
	¿Se han eliminado fuentes de contaminación del área de trabajo?		
	¿Los operarios contribuyen con su orden y aseo personal?		
	¿Existen elementos para depositar la basura?		
SEIKETSU - ESTANDARIZAR	¿Se utilizan modelos para conservar el orden?		
	¿Han creado algún proceso de estandarización para el orden y limpieza?		
	¿Se cuenta con una trazabilidad del estado de las herramientas de trabajo?		
	¿Se presentaron inconvenientes en el momento del orden y la limpieza?		
	¿Conocen los operarios de la actividad el proceso de orden y limpieza?		
SHITSUKKE - DISCIPLINA	¿Se percibe cultura con respecto al orden y la limpieza?		
	¿Se percibe proactividad en el equipo de trabajo para el orden y la limpieza?		
	¿Se presentó durante la actividad alguna alteración que afecte el orden y la limpieza?		
	¿Es visible el orden y la limpieza del área de trabajo?		
	¿Es constante el equipo de trabajo con el orden y la limpieza?		

Tabla 10. Checklist de 5S proceso de acabados.

Fuente: elaboración del autor.

5. Manejo y manipulación de materiales

El proyecto evaluado consta de 15 torres, cada torre de 10 pisos; la mayoría del tiempo muerto se encuentra evidenciado en el desplazamiento por las escaleras del edificio de los materiales, lo cual genera desperdicios como procesos innecesarios, movimientos innecesarios y transportes improductivos.

Según información suministrada por la constructora, para subir la baranda del balcón es utilizada la torre grúa del proyecto, al ser utilizada sólo para subir este material está siendo subutilizada, teniendo capacidad para subir más materiales y generando un ahorro en el tiempo gastado por lo operarios subiéndolos por las escaleras.

Para poder modificar el transporte de materiales hacia los apartamentos, la empresa tendría que tener un accesorio para la torre grúa como el que se muestra en la Imagen 11. Las especificaciones técnicas de este accesorio no pueden ser suministradas toda vez que están ligadas directamente a los materiales que la empresa constructora considere viables transportar por este medio y las especificaciones técnicas de la grúa disponible para la operación.



Imagen 11. Accesorio para torre grúa.

Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-grua-torre-certificados/>

A continuación, en la tabla 11 se relacionan el listado de los materiales que podrían ser subidos en el mismo trayecto con la baranda del balcón:

Procesos y Materiales	Unidad De Medida	Cantidad / Apto
Carpintería de aluminio – Ventanas		
Puerta ventana corrediza sistema vc-744, en aluminio anodizado natural y vidrio 5mm, dos hojas una fija y la otra corrediza - 2.0x2.17 mt	Un	1
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3825 - 1.0x1.20 mt	Un	2
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826 ,0.98x1.20 mt	Un	1
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826, 1.0x0.40 mt	Un	2
Ventana dos hojas una fija y otra corrediza, línea económica sistema vc-3826, 1.40x0.35 mt	Un	1
Enchapes		
Enchape pared jaya blanco 20x30 cm Corona	M2	15,3
Pisos		
Enchape piso natal blanco 20x20 cm Corona	M2	2,2
Enchape de piso Murano 45x45 cm	M2	64,0
Carpintería de aluminio – Marcos		
Marco en aluminio para puerta 0,80x2,35 mt	Un	2
Marco en aluminio para puerta 0,70x2,35 mt	Un	2
Marco en aluminio para puerta 0,92x2,35 mt	Un	1
Carpintería metálica		
Baranda tubo metálico redondo 2** cal. 16 y 3/4** cal. 18. Incluye anclajes, anticorrosivo y pintura tipo aceite	ML	4
Instalaciones hidrosanitarias		
Lavamanos con pedestal Shelby blanco ALFA, incluye grifería.	Un	2
Combo laguna con pedestal	Un	2
Lavadero prefabricado en concreto .50x.60x.24 mt.		0
Lavadero tipo fregadero 60x48en fibra de vidrio	Un	1

Tabla 11. Listado de materiales a transportar con torre grúa.

Fuente: elaboración del autor

VSM futuro

Para la construcción del VSM futuro, se tuvieron en cuenta los resultados generados de cada una de las cinco mejores propuestas, tales como: el aumento de la eficiencia del proceso del 10%, una disminución de operarios a 33 personas y la agrupación de algunas actividades para trabajo en paralelo, según lo muestra el diagrama PERT, la disminución del tiempo de aseo grueso por la implementación de las 5S en cada actividad y la disminución de tiempo por transporte ineficiente

de materiales. En la tabla 12 se muestra que actividades se vieron beneficiadas con cada una de las mejoras propuestas:

Actividades	Mejoras				
	1	2	3	4	5
Instalación puerta principal	X	X	X	X	
Mampostería y pañete	X	X	X	X	
Mastuca, estuco y fondeo			X	X	
Alistado de pisos			X	X	
Carpintería de aluminio - Ventanas	X		X	X	X
Cielo rasos	X	X	X	X	
Enchapes	X		X	X	X
Pisos		X	X	X	X
Pintura 2		X	X	X	
Carpintería de aluminio - Marcos	X		X	X	X
Carpintería metálica	X	X	X	X	X
Instalaciones eléctricas	X	X	X	X	
Pintura 3		X	X	X	
Instalaciones hidrosanitarias	X	X	X	X	X
Carpintería de madera	X		X	X	
Aseo grueso			X	X	

Tabla 12. Actividades beneficiadas por las mejoras

Fuente: elaboración del autor

Al igual que en el VSM actual, el VSM futuro cuenta con los procesos administrativos de la oficina técnica y compras, sobre el proceso de la cadena de suministro no se tuvo ninguna variación ya que como se explicó, no se cuenta con información suficiente para realizarle un análisis. Ambos VSM cuentan con 16 actividades, la diferencia radica en la agrupación para trabajo en paralelo dejando el proceso futuro con tan solo 10 etapas a comparación de las 16 con las que cuenta la situación actual.

Adicionalmente, disminuyó el tiempo de todas las actividades al tener una eficiencia del proceso de 20% y disminuyeron los tiempos muertos al volver más productivo el transporte de materiales a los apartamentos. Con las mejoras implementadas en el VSM futuro se estima que haya una mitigación, reducción o eliminación de cada uno de los 8 desperdicios, volviendo más productivo el proceso constructivo de acabados.

En la tabla 13 se relacionan los datos tenidos en cuenta para la construcción del VSM futuro y a su vez se compran con los datos del VSM actual:

Descripción Actividad	Duración (Hr)		Cantidad Operarios		Eficiencia	
	A	F	A	F	A	F
Instalación puerta principal	0,5	0,4	2	1	44%	57%
Mampostería y pañete	8,0	6,7	2	2	48%	57%
Mastuca, estuco y fondeo	32,0	20,0	2	4	14%	22%
Alistado de pisos	8,0	6,7	2	2	54%	65%
Carpintería de aluminio - Ventanas	8,0	6,3	2	2	38%	47%
Cielo rasos	2,7	2,5	2	1	88%	93%
Enchapes	8,0	6,7	2	2	50%	60%
Pisos	24,0	19,0	2	3	33%	42%
Pintura 2	24,0	15,0	2	3	17%	27%
Carpintería de aluminio - Marcos	2,7	2,3	2	2	75%	86%
Carpintería metálica	1,0	0,8	6	2	75%	90%
Instalaciones eléctricas	3,0	2,7	6	2	83%	94%
Pintura 3	24,0	12,0	2	3	8%	17%
Instalaciones hidrosanitarias	2,0	1,7	4	2	75%	90%
Carpintería de madera	2,0	1,7	1	1	75%	90%
Aseo grueso	24,0	12,0	1	1	8%	17%

Tabla 13. Datos para la construcción del VSM futuro.

Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

En la imagen 12 se muestra el VSM futuro construido:

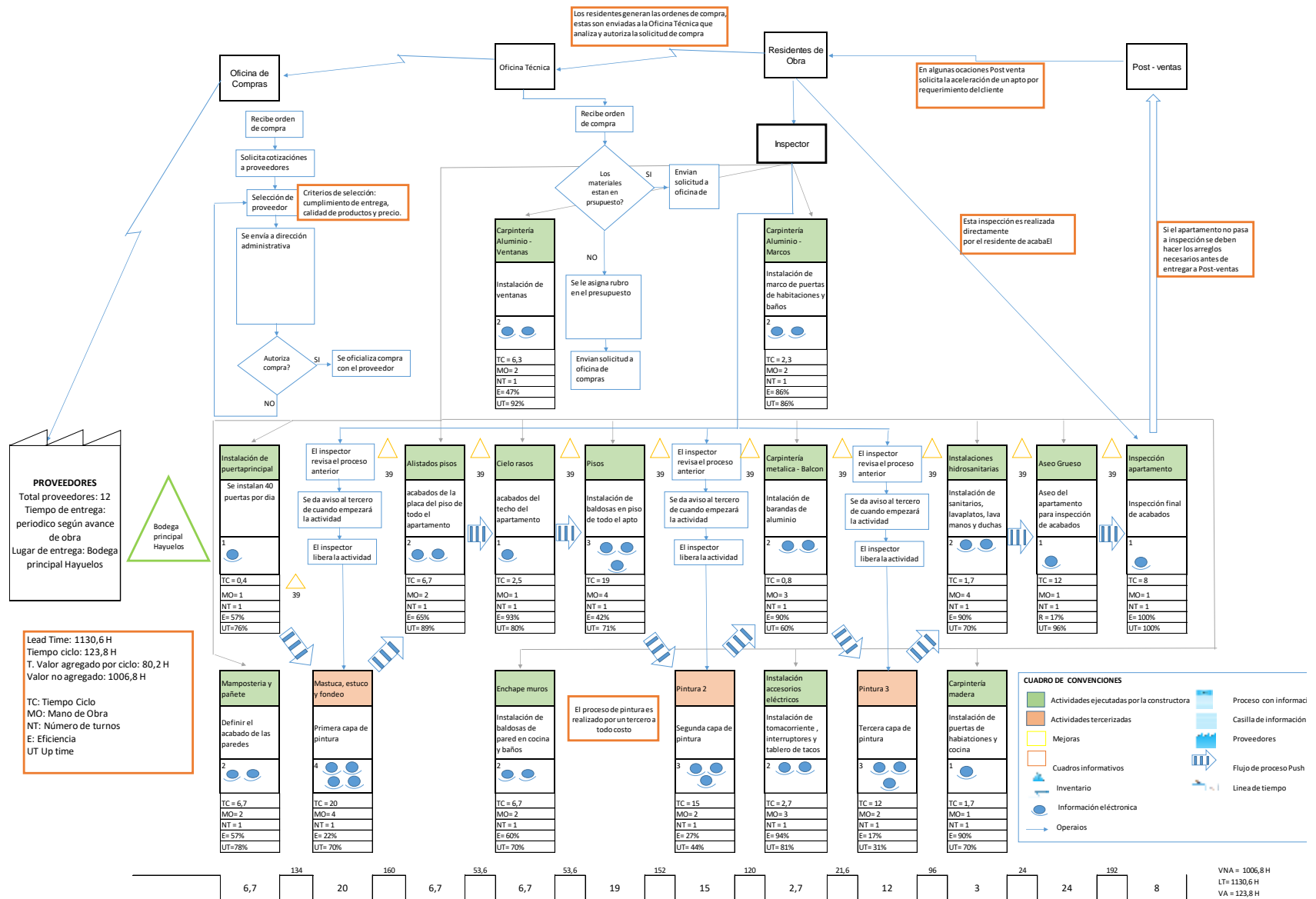


Imagen 12. VSM futuro. Fuente: Elaboración del autor – datos tomados del proceso constructivo en estudio

Simulación VSM futuro en Promodel

La simulación del VSM futuro en Promodel, se desarrolla con el fin de poder hacer un análisis comparativo de situación actual y la propuesta. Por medio de la simulación se puede verificar si las mejoras propuestas, en las cuales es basada la construcción del VSM futuro, generan beneficios al proceso constructivo de acabados. En la tabla 14 se hace la relación de los datos que varían para la construcción del VSM futuro, no se relacionan materiales ni sus cantidades, ya que son exactamente los mismos utilizados en la simulación de la situación actual.

Procesos y Materiales	Tiempo (Hr)/ Apto	Mano De Obra
Instalación puerta principal	0,4	1
Mampostería y pañete	6,7	2
Mastuca, estuco y fondeo	20	4
Alistado de pisos	6,7	2
Carpintería de aluminio - Ventanas	6,3	2
Cielo rasos	2,5	1
Enchapes	6,7	2
Pisos	19	3
Pintura 2	19	3
Carpintería de aluminio - Marcos	2,3	2
Carpintería metálica	0,8	2
Instalaciones eléctricas	2,7	2
Pintura 3	12	3
Instalaciones hidrosanitarias	1,7	2
Carpintería de madera	1,7	1
Aseo grueso	12	1

Tabla 14. Datos que varían para la simulación del VSM.

Fuente: elaboración del autor

En la simulación del VSM futuro se puede evidenciar el mejoramiento de la proporción de tiempo en relación al tiempo entre el valor agregado y el valor no agregado del proceso constructivo que se reduce a la mitad con respecto a la situación actual; así como una distribución y aprovechamiento más adecuado de los recursos disponibles al disminuir los tiempos muertos del proceso. En la imagen 13 se muestra el layout de la simulación:



Imagen 13. Simulación VSM futuro.

Fuente: datos programados sujetos a los datos obtenidos del proceso constructivo

RESULTADOS OBTENIDOS

Las mejoras implementadas en el VSM futuro

Las 5 oportunidades de mejoras propuestas para la construcción del VSM futuro son:

1. Aprovechamiento las precedencias de las actividades.
2. Balanceo de la línea del proceso constructivo de acabados
3. Obtención de información en tiempo real - Construcción 4.0
4. Implementación 5S en el proceso de acabados
5. Manejo y manipulación de materiales

A continuación, en la tabla 15 se presenta un cuadro resumen de las mejoras obtenidas a través de los indicadores planteados para el análisis de la situación actual y futura:

Indicador	Situación Actual	Situación Futura	Ahorro / Mejora
Lead time (Hr)	1419.5	479	940.5
Tiempo ciclo por apartamento (Hr)	185,5	111,8	73,7
Tiempo VA por ciclo (Hr)	134,2	88.3	45.9
Tiempo VNA por ciclo (Hr)	51.3	23.5	27.8
Ciclo de control (min)	1440	480	960
Mano de obra	40	33	7
Eficiencia	10%	20%	10%
Días por torre de 40 apartamento	177.5	60	117.5

Tabla 15. Resumen mejoras obtenidas en proceso de acabados.

Fuente: elaboración del autor

Las mejoras evidenciadas en la tabla anterior traducen los resultados obtenidos principalmente en la disminución de 117.5 días el tiempo de entrega de una torre de 40 apartamentos a postventa, para culminar el proceso con el cliente final, es decir, que la empresa se ahorra el 48% del tiempo que actualmente invierte. En la tabla 16 se muestra la reducción en días de cada actividad para lograr este resultado:

Descripción de actividad	Ahorro en días
Instalación puerta principal	6.1
Mampostería y pañete	
Mastuca, estuco y fondeo	23.5
Alistado de pisos	4.8
Carpintería de aluminio - Ventanas	18.3
Cielo rasos	
Enchapes	
Pisos	15.1
Pintura 2	17.6
Carpintería de aluminio - Marcos	6.2
Carpintería metálica	
Instalaciones eléctricas	
Pintura 3	19.5
Instalaciones hidrosanitarias	4.9
Carpintería de madera	
Aseo grueso	1.5
Inspección apartamento	0.0
Total días ahorrados	117.6

Tabla 16. Ahorro en días por cada actividad del proceso constructivo de acabados

Fuente: elaboración del autor

La eficiencia del proceso aumento en un 10% y esta mejora se ve reflejada en la disminución de los otros indicadores; el lead time se redujo en un 66.2% y esto se debe a que al realizar una mejor manipulación y transporte de los materiales se disminuye el tiempo del proceso, el tiempo muerto y aumenta el tiempo de valor agregado en cada actividad, también está relacionado con la redistribución que se le realizó a la mano de obra y las actividades que se están realizando en paralelo gracias al PERT.

La mano de obra se redujo de 40 a 33 personas que fueron redistribuidas en cada una de las actividades, teniendo en cuenta la metodología constructiva, las exigencias y parámetros suministrados por la constructora. Para la redistribución también se consideraron las actividades críticas identificadas en el diagrama PERT.

Por medio del diagrama PERT se pudieron identificar aquellas actividades que podían ser ejecutadas en paralelo, lo que redujo el tiempo ciclo del proceso y también se le atribuye la reducción del lead time y de los tiempos de esperas entre actividades categorizados como tiempo de valor no agregado. En el tiempo de valor no agregado también está incluido el tiempo invertido por los desperdicios ocultos en el proceso y otros tiempos muertos identificados.

Las mejoras expuestas en la tabla 15 fueron generadas principalmente por el diagrama PERT, el balanceo de actividades y la manipulación y transporte de materiales; sin embargo la implementación de las 5S permitirá que el modelo de proceso constructivo propuesto pueda ejecutarse, ya que facilitaría el trabajo de las actividades en paralelo; y disminuye el tiempo de la actividad Aseo Grueso, ya que al irse realizando las inspecciones del aseo a medida que el proceso avanza el proceso, el apartamento estará en mejores condiciones de limpieza cuando llegue a esta actividad.

El *Dashboard* es una herramienta que no le cuesta mucho dinero a la empresa y le puede traer grandes beneficios, tales como:

1. Recolección de datos en tiempo real
2. Identificación de las interferencias en las actividades
3. Toma de decisiones en tiempo real, por la opción de obtener una copia del *Dashboard* en el correo electrónico al utilizar el un código a través del aplicativo
4. Obtención de información real para el análisis del proceso.

La funcionalidad del *Dashboard* se garantiza teniendo el archivo de Excel abierto todo el tiempo por medio de un servidor de la constructora, de tal forma que se genere una conexión inmediata entre el aplicativo móvil y la base de datos que alimenta el *Dashboard*. De no ser así, se podría perder información que sea enviada desde la obra, pues si el archivo está cerrado y en el Excel no está activo el Scan It to Office no hay conexión y por lo tanto, no hay lectura de información.

En la tabla 17 se muestran las mejoras por actividad:

Descripción actividad	Disminución en duración (Hr)	Aumento eficiencia
Instalación puerta principal	0,1	13%
Mampostería y pañete	1,3	10%
Mastuca, estuco y fondeo	12,0	8%
Alistado de pisos	1,3	11%
Carpintería de aluminio - Ventanas	1,7	10%
Cielo rasos	0,2	6%
Enchapes	1,3	10%
Pisos	5,0	9%
Pintura 2	9,0	10%
Carpintería de aluminio - Marcos	0,3	11%
Carpintería metálica	0,2	15%
Instalaciones eléctricas	0,3	10%
Pintura 3	12,0	8%
Instalaciones hidrosanitarias	0,3	15%
Carpintería de madera	0,3	15%
Aseo grueso	12,0	8%

Tabla 17. Mejoras por actividad

Fuente: elaborado por el autor

Todas las mejoras propuestas fueron basadas principalmente en la filosofía *lean* y los conceptos de ingeniería industrial, buscando principalmente la reducción, mitigación o eliminación de los desperdicios identificados en cada una de las actividades.

Restricciones de la investigación

En el desarrollo de la investigación se presentaron varias restricciones, que afectaron la construcción de los modelos VSM actual y futuro, tomando la decisión de dejar ciertos temas por fuera del análisis del proceso constructivo.

Aunque la investigación fue realizada con el aval de la constructora, es relevante destacar que entre sus procesos internos existen cláusulas de confidencialidad que impidieron que información como la de proveedores y costos fuese suministrada para el análisis de la logística de abastecimiento de los materiales utilizados en el proceso constructivo de acabados.

Por tal razón, en el VSM actual y futuro no se especifica la cadena de suministro de los materiales, ni el proceso que desarrolla cada proveedor para abastecer la obra. Sin embargo, estos datos no fueron indispensables para el análisis de los otros datos suministrados; pero para la simulación del proceso se debió partir del principio que todos los materiales estaban disponibles en obra en el momento de empezar la actividad.

Otro punto desfavorable, fue el tiempo de las personas pertenecientes al equipo de trabajo para la construcción del VSM actual, pues lo ideal es hacer la construcción en conjunto, teniendo en cuenta en tiempo real las observaciones de cada persona desde su experiencia. En este caso, con la información suministrada y recolectada, se empezó la construcción y se iba socializando de manera individual para no interferir en el desarrollo de sus actividades laborales.

CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Conclusiones

En la mejora de la productividad del proceso constructivo de acabados utilizando la metodología lean construction, una vez realizado el VSM actual y el análisis de sus variables, se encontró que las cinco actividades con el más alto índice de desperdicio son inicialmente: mastuca – estuco – fondeo, pintura 2 y pintura 3; estas actividades presentan la menor eficiencia en todo el proceso: 14%, 17% y 8% respectivamente, y esto se debe a los reprocesos generados por corrección de actividades previas mal ejecutadas. Así mismo está la actividad de instalación de pisos con una eficiencia del 33% y finalmente, se encuentra el proceso de carpintería de aluminio – instalación de ventanas. En estas cinco actividades los desperdicios identificados son: procesos innecesarios, transporte ineficiente de los materiales, movimientos innecesarios y espera.

Por medio de la elaboración del diagrama PERT y utilizando el concepto de precedencia se logró agrupar actividades para ejecución en paralelo. Esta mejora generó una disminución del

33,2% del tiempo ciclo del proceso constructivo por apartamento. Esta mejora es evidenciada en la construcción del VSM futuro en donde las 16 actividades pasan de ser 16 etapas en el proceso constructivo, a ser la misma cantidad de actividades pero con un proceso constructivo conformado por 10 etapas.

El balanceo de actividades permitió un aumento del 10 % en la eficiencia del proceso lo cual se refleja en la disminución del 66,2% del lead time y la disminución de los colaboradores del proceso a 33 personas, logrando la disminución del plazo de entrega del apartamento y el aumento de la satisfacción del cliente.

En un proceso *lean construction* es indispensable contar con información veraz y real para la toma de decisiones asertiva, que impidan reprocesos y aumento de los costos del proceso constructivo, por esta razón y tomando como base el concepto de Industria 4.0 y la incorporación del concepto en la cadena de valor, se facilitará el flujo de información de lo físico, a decisiones en tiempo real; logrando el aumento de la productividad, reducción de costos y mejora en la calidad del producto final. Aplicándolo a la construcción se traduce como Construcción 4.0, el *Dashboard* diseñado proporciona información eficaz sobre el avance de la obra, la eficiencia de los procesos, la duración de cada actividad, las interferencias y la utilización de la mano de obra. La base de datos puede ser alimentada en tiempo real, por varios usuarios a través a través de una conexión en línea por el aplicativo Scan It to Office, por el cual se tendría que pagar una membresía de UDS 30 dólares anuales por usuario o adquirir una licencia empresarial si el aplicativo está siendo utilizado por más de 10 personas sobre un mismo código QR de conectividad.

La implementación de las 5S como herramienta de lean para lograr el orden y la limpieza en los lugares de trabajo, se genera con dos fines: la disminución del tiempo de la actividad denominada aseo grueso, ya que aunque no atrasa las actividades principales del proceso, si atrasa la entrega del apartamento a post venta; implementando la mejora se espera la disminución en un 50% del tiempo de la actividad. Adicionalmente, se espera que el control en orden y limpieza que genera la herramienta permita que el trabajo de algunas actividades en paralelo sea desarrollado de manera óptima sin presentar alteraciones por daños de materiales, actividades terminadas o en proceso.

la investigación concluyó que el mayor desperdicio presente en el proceso es el de transporte y manipulación de materiales equivalente al 50% del tiempo muerto. Para lograr la disminución de este, que es considerado de valor no agregado, se propuso el uso de la torre grúa. Con esto se espera optimizar la utilización del recurso disminuyendo en un 37,2% el tiempo muerto generado por este desperdicio.

La construcción y modelación del VSM actual permitió analizar el comportamiento del valor agregado y valor no agregado en la situación actual y futura. Utilizando la simulación en Promodel como un instrumento para aproximar a través del Software de manera dinámica y animada, el comportamiento de los recursos y las variables en el VSM actual y VSM futuro.

Recomendaciones

La implementación de un modelo lean construction en una empresa, toma tiempo, esfuerzos, cambio cultural y compromiso. Por tal razón se recomienda:

1. Capacitar al personal a todo nivel directivo, administrativo, operativo y contratistas en filosofía lean y lean construction para que el lenguaje sea universal y se pueda empezar el cambio de mentalidad requerido para poder implementar y sostener las mejoras propuestas.
2. Realizar pedagogía para la elaboración de kaizen por parte de los equipos de trabajo de cada área, esto con el fin de identificar los desperdicios ocultos y mitigar, reducir o eliminar sus impactos en los procesos administrativos u operativos.
3. Promover programas de cero desperdicios en obra.
4. Es indispensable que se busque un método para lograr obtener información en tiempo real, sea o no implementado lean construction, pues esto les facilitará la toma de decisiones y transparencia en ejecución de la obra.

Futuras investigaciones

Teniendo en cuenta el desarrollo de esta investigación y el gran campo de acción de lean construction, se recomiendan las siguientes futuras investigaciones:

- Replicar esta investigación en otras etapas del proceso constructivo de vivienda.

- Replicar esta investigación en un proceso constructivo de acabados en el que se tenga acceso a la información de la cadena de suministro.
- Realizar un VSM en tiempo real para determinar la composición exacta de cada uno de los tiempos de las actividades
- Hacer el análisis de la cadena de suministros y gestión de inventarios a un proceso constructivo de acabados de vivienda.
- Hacer un análisis de las interferencias y los desperdicios que generan en un proceso constructivo.
- Hacer una revisión del avance en Colombia de la implementación de lean construction
- Análisis de los casos de éxito en la implementación de lean construction en Colombia

Es de resaltar que la presente investigación puede ser replicada por otras empresas constructoras del sector, en el proceso de acabados para la construcción de casas o apartamentos, tomando como base la metodología para la obtención de datos o en su defecto, y como versión mejorada, realizando la obtención de información por observación directa. Sería importante para este trabajo que se realizará la implementación de las mejoras aquí propuestas y su respectivo análisis para identificar la viabilidad de implementación en otras empresas del sector.

REFERENCIAS

Acosta, W. (2001). Redes y PERT / CPM método del camino crítico. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/redes-y-pert-cpm-metodo-del-camino-critico/>

Accesorios para grúa torre - equipos especiales. (2016). Bogotá. D.C. Colombia. Recuperado de: <http://gruasyequipos.com/accesorios-grua-torre-certificados/>

Aziz, R. & Hafez, S. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria Engineering Journal. Vol, 52 (4) (2013), págs. 679 – 695. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681300046X>

A3 Report: Herramienta Lean Manufacturing de Resolución de Problemas. Progressa Lean. Recuperado de: <https://www.progressalean.com/a3-report-herramienta-lean-manufacturing-de-resolucion-de-problemas/>

Björnfot, A., Bildsten, L., Erikshammar, J., Haller, M., & Simonsson, P. (2011). Lessons learned from successful value stream mapping (VSM). 19th Conference of the International Group for Lean Construction. Lima: Fondo Ed. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Bohórquez, E. (2019). ¿Qué está pasando con la construcción en Colombia?. Periódico El Espectador, Bogotá. D.C. Colombia. recuperado de: <https://www.elespectador.com/economia/que-esta-pasando-con-la-construccion-en-colombia-articulo-864229>

Botero, L, & Álvarez, M. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como herramienta de mejoramiento). Universidad EAFIT, 50-64.

Botero, L. F. (2006). Construcción Sin Pérdidas. Bogotá. D.C. Colombia. Legis S.A.

CAMACOL. (2008). Actividad edificadora en Colombia: situación actual y perspectivas. Bucaramanga: Camacol.

CAMACOL y SENA. (2017). Proyecto de investigación del sector de la construcción de edificaciones en Colombia. Bogotá: CAMACOL y SENA. Bogotá. D.C. Colombia.

CAMACOL. (2018) Informe de productividad, recuperado de: <https://camacol.co/sites/default/files/INFORME-PRODUCTIVIDAD-VF.PDF>

CAMACOL Bogotá & Cundinamarca, (2015). Fundador de Lean Construction entrega reconocimiento a empresas colombianas que implementaron el modelo. Bogotá. D.C. Colombia. Recuperado de: <https://ww2.camacolcundinamarca.co/382-reconocimiento-lean-construction.html>

Camargo, E., & González, J. (2011). Propuesta de un sistema operativo de gestión basado en filosofía "Lean Construction" que permita estandarizar actividades implicadas en el montaje de la estructura metálica de un edificio. Bogotá: Universidad de la Salle.

Dal Forno, J., & Pereira, F. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of lean tools. Springer, 779-790.

Del Río, J.; Langard, F.; Arturi, D.; La impronta del mercado inmobiliario en el período neo desarrollista; Instituto Argentino para el Desarrollo Económico; Realidad Económica; 283; 5-2014; 77-101

Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2016). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. Automation in Construction. Vol. 61, January 2016, Pages 86-97. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580515002149>

Fernández, M. (2014). Lean Manufacturing en español. Editorial:imagen.com. E.E.U.U. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=L->

SaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=lean+en+espa%C3%B1ol&ots=V0za_vUXEJ&sig=chlXyPggMPTRNrvOLOdzCftdkam#v=onepage&q=lean%20en%20espa%C3%B1ol&f=false

Jones, D., & Womack, J. (2012), *Lean Thinking*, España, Gestión 2000.

Lector de código de barras y captura de datos. Recuperado de: <https://www.tec-it.com/es/software/mobile-data-acquisition/scan-it-to-office/overview/Default.aspx>

Koskela, L., Ferrantelli, A., Niiranen, J., Pikas, E., & Dave B. (2019). Epistemological Explanation of Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol.145 Issue 2 - February 2019. Recuperado de: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001597>

Matt, D., Krause, D., & Rauch, R. (2013). Adaptation of the value stream optimization approach to collaborative company networks in the construction industry. *Procedia CIRP*(12), 402-407.

Medina, D., comunicación personal, septiembre 10 de 2018.

Metodología de las 5s. Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>

Montoya R., Alexandra, & Montoya R., Iván, & Castellanos, Oscar (2010). Situación de la competitividad de las Pyme en Colombia: elementos actuales y retos. *Agronomía Colombiana*, 28(1),107-117. [fecha de Consulta 13 de Enero de 2020]. ISSN: 0120-9965. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1803/180315651012>

Nash, M., & Poling, S. (2008). *Mapping the total Value Stream: A comprehensive guide for production and transactional processes*. Taylor & Francis Group, LLC, New York, E.E.U.U.

Páez, H., Vargas, H., & Ramírez, L. (2013). La institucionalización del Lean Construction en un país en desarrollo. Elageo. Cancún: Tecnológico de Monterrey.

Paredes, J. (2017). Balance de líneas de producción. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/JuanParedesCampos/balance-de-lineas-de-produccion>

Periódico La Nación. ¿Qué es la Construcción 4.0?. Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/economia/que-es-la-construccion-40-nid2084324>

Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. AVANCES Investigación en ingeniería.

Porter, M. (2008), Estrategias competitivas, México, Grupo editorial Patria.

Quintero, J. & Sánchez, J. (2006). La cadena de valor: Una herramienta del pensamiento estratégico. Telos, 8(3),377-389. [fecha de Consulta 3 de Enero de 2020]. ISSN: 1317-0570. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=993/99318788001>

Ramos, P. & Santos, D. (2016), Investigaçãõ de perdas devido ao trabalho inacabado e o seu impacto no tempo de ciclo dos processos construtivos, Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 39-52, abr./jun. 2017.

Rosenbaum, S., Toledo, M., & González, V. (2013). Improving environmental and production performance in construction projects using value-stream mapping: case study. ASCE, 1-12.

Solaimani, S., & Sedighi, M. (2020). Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. Journal of Cleaner Production. Vol. 248, 1 March 2020, 119213. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619340831>

Sudhakar, N. Vishnuvardhan, Mr.K, (2017), Improving Productivity in Construction by using Value Stream Mapping, International Journal of Engineering Technology Science and Research, Volume 4, Issue 2 February 2017

Yu, H., Tweed, T., Al-Hussein, M., & y Nasser, R. (2009). Development of Lean Model for House Construction Using Value Stream Mapping. Journal of Construction Engineering and Management, 135(8), 782-790.