

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
	DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(99)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Pedro Javier Quintero Rincón		
FACULTAD	Facultad de ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Construcción		
DIRECTOR	MSc Romel Jesús Gallardo Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Desarrollo de un modelo BIM que integre principios Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, mediante la aplicación de herramientas de modelado e integración para la optimización de mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios.		
TITULO EN INGLES	Development of a BIM model that integrates Lean Construction principles into the Casona El Panche construction project, using modeling and integration tools to optimize efficiency improvements and reduce waste.		
RESUMEN (70 palabras)			
La industria de la construcción tiene una estrecha relación con la contaminación ambiental. Alrededor del 50% de los recursos materiales son usados por este sector, adicionalmente también produce el 50% de todos los desechos generados, Así mismo, el 40% del consumo total de energía es usado en el medio de la construcción, generando la necesidad de reducir todo tipo de desperdicios, maximizar y sostener todo tipo de recursos, entregando productos y servicios de la manera más eficiente y eficaz posible; permitiendo con esto materializar una construcción sostenible.			
RESUMEN EN INGLES			
The construction industry is closely linked to environmental pollution. This sector uses approximately 50% of material resources, and it also produces 50% of all waste. Furthermore, 40% of total energy consumption is used in construction, generating the need to reduce all types of waste, maximize and sustain all types of resources, and deliver products and services in the most efficient and effective way possible, thereby enabling sustainable construction.			
PALABRAS CLAVES	Desarrollo, Casona, Eficiencia, Construcción.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Development, Mansion, Efficiency, Construction.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 99	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Desarrollo de un modelo BIM que integre principios Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, mediante la aplicación de herramientas de modelado e integración para la optimización de mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios.

Pedro Javier Quintero Rincón

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

MSc Romel Jesús Gallardo Amaya

Agosto, 2025

Índice

Capítulo 1. Desarrollar un modelo BIM que integre principios Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, mediante la aplicación de herramientas de modelado e integración para la optimización de mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios.	8
1.1 Planteamiento del Problema	8
1.2 Formulación del Problema.....	10
1.3 Objetivos de Investigación.....	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificación	11
1.5 Delimitaciones	13
1.5.1 Delimitación geográfica	13
1.5.2 Delimitación temporal.....	13
1.5.3 Delimitación conceptual.....	14
1.5.4 Delimitación operativa	14
Capítulo 2. Marco referencial	15
2.1 Marco histórico	15
2.2 Marco Contextual	17
2.3 Marco conceptual.....	18
2.4 Marco teórico	22
2.4.1 Contexto a nivel internacional.....	22
2.4.2 Contexto a nivel nacional.....	24
2.5 Marco Legal	26
Capítulo 3. Diseño metodológico	31

3.1 Tipo de investigación	31
3.2 Población y muestra.....	31
3.2.1 Población.....	31
3.2.2 Muestra.....	32
3.4 Análisis de la información	33
3.5 Cronograma de actividades.....	33
Capítulo 4. Resultados.....	36
4.1 Modelamiento del proyecto de construcción Casona El Panche en BIM, para la identificación de los procesos constructivos y optimización de mejoras en la etapa de planificación y diseño	36
4.1.1 Identificación de procesos constructivos	36
4.1.1.1 Movimiento de tierras y demolición	38
4.1.1.2 Cimentación y reforzamiento estructural	41
4.1.1.3 Mampostería y cerramientos	43
4.1.1.4 Cubierta y estructura metálica.....	45
4.1.1.5 Pisos y Acabados	47
4.1.2 Evaluación de desperdicios.....	51
4.1.2.1 Esperas y retrasos por materiales	52
4.1.2.2 Defectos y retrabajos.....	52
4.1.2.3 Almacenamiento y transporte de materiales ineficiente.....	52
4.1.2.4 Desperdicio de capacidades humanas en tareas	53
4.1.2.5 Actividades que no son optimizadas	54
4.1.3 Oportunidades de mejora	54
4.1.3.1 Integración de metodología BIM para optimización de diseños.....	55
4.1.3.2 Estrategias desde la filosofía Lean Construction	55
4.1.3.3 Optimización de materiales y eliminación de residuos.....	56

4.1.3.4 Logística de almacenamiento	56
4.1.4 Modelo 3D del proyecto Casona El Panche	57
4.2 Aplicación de herramientas Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, para identificar y eliminar desperdicios en la etapa de planificación y diseño ..	59
4.2.1 Mapeo de flujo de valor	59
4.2.2 Clasificación de valor en las fases del proyecto	60
4.2.2.1 Clasificación de valor Fase 1	61
4.2.2.2 Mapa de flujo de valor para la fase 1	64
4.2.2.3 Clasificación de valor Fase 2	64
4.2.2.4 Mapa de flujo de valor para la fase 2	66
4.2.2.5 Clasificación de valor Fase 3	67
4.2.2.6 Mapa de flujo de valor para la fase 3	69
4.2.2.7 Clasificación de valor Fase 4	70
4.2.2.8 Mapa de flujo de valor para la fase 4	72
4.2.2.9 Clasificación de valor Fase 5	73
4.2.2.10 Mapa de flujo de valor para la fase 5	75
4.2.2 Last Planner System.....	76
4.2.2.1 Planificación por fases BIM.....	77
4.2.2.2 Planificación semanal REVIT	82
4.2.2.3 Seguimiento del PPC (Plan Percent Complete)	83
4.3 Generación de indicadores que demuestren el valor de la integración Lean Construction-BIM para producir documentación técnica que sirva como guía de implementación en proyectos futuros.....	83
4.3.1 Criterios de comparación del método tradicional con la metodología BIM y filosofía Lean Construction	84
4.3.2 Indicadores de eficiencia	86

4.3.2.1 Tareas cumplidas semanalmente	87
4.3.2.2 Índice de actividades NVA	88
4.3.2.3 Índice de cumplimiento del cronograma	89
4.3.2.4 Índice de retrabajos	90
4.3.2.5 Eficiencia de los recursos	90
5. Conclusiones.....	92
Referencias	93

Lista de tablas

Tabla 1 Cronograma de actividades	33
Tabla 2 Procesos constructivos del proyecto Casona El Panche	37
Tabla 3. Abreviaturas y clasificación de valor para las actividades	61
Tabla 4. Clasificación de valores para las actividades de la fase 1	62
Tabla 5 Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 1	62
Tabla 6. Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 1	63
Tabla 7. Clasificación de valores para las actividades de la fase 2.....	64
Tabla 8. Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 2	65
Tabla 9. Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 2	66
Tabla 10. Clasificación de valores para las actividades de la fase 3.....	67
Tabla 11 Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 3.....	68
Tabla 12 Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 3	68
Tabla 13. Clasificación de valores para las actividades de la fase 4.....	70
Tabla 14. Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 4	70
Tabla 15. Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 4	71
Tabla 16. Clasificación de valores para las actividades de la fase 5.....	73
Tabla 17. Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 5	74
Tabla 18. Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 5	75
Tabla 19. Criterios de comparación entre enfoque tradición y BIM+LC	84
Tabla 20. Comparación del tiempo ejecutado aplicando el método tradicional y BIM+LC	85

Lista de figuras

Figura 1 Ciclo de vida de un proyecto BIM	20
Figura 2 Objetivos de desarrollo sostenible	28
Figura 3 Requisitos de sostenibilidad.....	30
Figura 4. Diagrama de flujo del proyecto.....	58
Figura 5 Visualización del modelo 3D, vista 1.....	58
Figura 6. Visualización del modelo 3D, vista 2.....	59
Figura 7. Mapa de flujo de valor fase 1	64
Figura 8. Mapa de flujo de valor fase 2.....	66
Figura 9. Mapa de flujo de valor fase 3.....	69
Figura 10. Mapa de flujo de valor fase 4.....	72
Figura 11. Mapa de flujo de valor fase 5	76
Figura 12. Fase 1 en modelo 3D REVIT	78
Figura 13. Fase 2 en modelo 3D REVIT	79
Figura 14. Fase 3 en modelo 3D REVIT	80
Figura 15. Fase 4 en modelo 3D REVIT	80
Figura 16. Fase 5 en modelo 3D REVIT	81

Capítulo 1. Desarrollar un modelo BIM que integre principios Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, mediante la aplicación de herramientas de modelado e integración para la optimización de mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios.

1.1 Planteamiento del Problema

La industria de la construcción tiene una estrecha relación con la contaminación ambiental. Alrededor del 50% de los recursos materiales son usados por este sector, adicionalmente también produce el 50% de todos los desechos generados, Así mismo, el 40% del consumo total de energía es usado en el medio de la construcción, generando la necesidad de reducir todo tipo de desperdicios, maximizar y sostener todo tipo de recursos, entregando productos y servicios de la manera más eficiente y eficaz posible; permitiendo con esto materializar una construcción sostenible. (Aguilar, 2020)

Lo anterior, se lograría en gran medida dando una verdadera importancia al diseño de cada uno de los procesos, despertando así la capacidad que tiene la industria de simular las condiciones de trabajo antes de construir, como sucede en la industria manufacturera para automatizar procesos y crear flujo y valor. (Moud, 2013)

La creación de un buen diseño genera información que es la base de los proyectos de construcción, ya que crean las instalaciones totales, los sistemas fijos como agua,

desagüe, transporte, electricidad, gas, etc.; además establecen los factores claves de un proyecto tales como, costo, alcance, tiempo y calidad. La gestión integral de cada uno de estos factores determina el éxito o fracaso del proyecto. (Gorog, 2013)

Partiendo del hecho de que un buen diseño es la base de la productividad, ya que está estrechamente relacionada con la gestión adecuada y oportuna de la información generada en este. En la empresa construcciones y urbanizaciones LG, se ha generado la necesidad de identificar los posibles futuros problemas con el fin de obtener un abanico de posibles soluciones oportunas, en miras de reducir perdidas, costos y tiempo. A su vez, mitigar el daño ambiental, por ello se propone la aplicación de BIM integrada con la filosofía Lean Construction, bajo la concepción de construcción sostenible en una obra del Casa El Panche.

En otras palabras, lo que se busca es encontrar la variable de mayor interacción apuntando al siguiente orden de ideas. Existen condiciones medioambientales que deben ser atendidas por el sector de la construcción, en este caso, la empresa LG Construcciones, desea aportar generando construcciones con menos desperdicios, partiendo de lo anterior se utilizaran las herramientas mencionadas, ya que contribuye a crear un ambiente donde se conozca las actividades y procesos en un proyecto, tomando decisiones correctas en tiempos adecuados, con el fin de realizar un mejor diseño sin perdidas y agregando valor al producto. Por último, aplicando BIM como una plataforma de trabajo que facilita la capacidad de modelar, visualizar e integrar la información través de modelos virtuales,

inteligentes, interoperables y multidisciplinarios para una correcta toma de decisiones.
(Huamán, 2014)

La razón de hallar este punto de interacción radica en la creación de procesos que permitan una integración de la sostenibilidad, con la gestión y diseño de los procesos constructivos con compromiso ambiental del equipo planeador, para evitar que estos sean defectuosos, costosos y con implicancia negativa en etapas posteriores, tales como la construcción y la operación y mantenimiento. (Huamán, 2014)

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo la empresa LG Construcciones puede impulsar la construcción sostenible mediante la adopción integrada de la filosofía Lean Construction y la Metodología BIM en la construcción del proyecto Casona El Panche?

1.3 Objetivos de Investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo BIM que integre principios Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, mediante la aplicación de herramientas de modelado e integración para la optimización de mejoras en eficiencia y reducción de desperdicios.

1.3.2 Objetivos específicos

- Modelar el proyecto de construcción Casona El Panche en BIM, para la identificación de los procesos constructivos y optimización de mejoras en la etapa de planificación y diseño
- Aplicar herramientas Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, para identificar y eliminar desperdicios en la etapa de planificación y diseño
- Generar indicadores que demuestren el valor de la integración Lean Construction-BIM para producir documentación técnica que sirva como guía de implementación en proyectos futuros.

1.4 Justificación

Este proyecto se justifica en cierta medida, dar un alivio desde la etapa del diseño a los contratiempos presentados en la ejecución de un proyecto de construcción, recalando que muchos de los conflictos suscitados en las diferentes etapas pueden ser remediados en

la etapa inicial en la cual se crea y se visualiza el futuro de los mismos, lo que se traduce a menos costo, menor gasto de recurso y por supuesto menor tiempo, y esto a su vez significa menos generación de contaminación emanada de ellos.

Aunado a lo anterior existe hoy una complejidad aumentada al sector de la construcción, pues la sociedad y economía de los países exige cada vez más eficacia, prontitud, y disminución de contaminación, situación que necesariamente requiere el uso de prácticas y tecnologías que respondan a la velocidad del desarrollo actual.

Los estudiosos de la materia han coincidido en la mayoría de los casos, que el cumplimiento exitoso de los proyectos va de la mano de una gestión que integre de forma coordinada a cada uno de los agentes que intervienen, donde se manejen como principales premisas, la colaboración y coordinación que permita que lo planteado desde el diseño se materialice íntegramente.

En síntesis, se hace relevante con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos actuales del sector donde el éxito de cada obra y la conciencia ambiental, vayan de la mano de la creación de metodologías que integren diferentes factores como la gestión y la tecnología, es decir, que cuenten con una estructura de planificación y control que sean altamente compatibles y permitan llevar el proceso constructivo con altos índices de efectividad, decreciendo el impacto ambiental causado por el mismo.

Bajo las premisas anteriores y el conocimiento de que, a los proyectos constructivos se les puede dar un desarrollo integrado mediante la filosofía Lean Construction y Metodología BIM, destacando características que aporten al sector o cubrimiento de necesidades para la empresa construcciones y edificaciones LG, con el fin de que el diseño y la planeación permitan implementar estrategias tendientes a la eficiencia y a una construcción amigable con el ambiente, a su vez, permita la aplicación de estas herramientas en futuros proyectos.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica

El presente trabajo se aplicará y enfocará específicamente al proyecto de construcción Casona El Panche, desarrollado por la constructora LG Construcciones. La investigación se llevará a cabo dentro del área específica donde se ejecuta el proyecto, considerando tanto la fase de planificación y diseño como la etapa de desarrollo de la construcción. El análisis se centrará en la implementación de BIM en la fase de planificación y diseño del proyecto, así como en la aplicación de principios de Lean Construction durante su ejecución.

1.5.2 Delimitación temporal

Este proyecto será realizado en el transcurso de 9 meses.

1.5.3 Delimitación conceptual

Este proyecto se realizará de acuerdo a los siguientes conceptos: Sostenibilidad, Cero Desperdicio, Lean Construction, Building Information Modeling, Diseño, Construcción, Mantenimiento, Control, Planeación, Sinergia, Interacción, Contaminación ambiental, Vida útil y Recursos.

1.5.4 Delimitación operativa

Se creará una base de datos que contenga información relevante sólida, que permita posteriormente una filtración de información, que abarque los beneficios de la aplicación del Lean Construction y el BIM en la etapa de planeación, destacando que dicha planeación será integra es decir se tendrá en cuenta cálculos de energía, uso óptimo de materiales, reducción de la contaminación, e incluso manuales de mantenimiento. se proyectará para ello información que atienda a los requerimientos de una obra vertical, hallando partiendo de esto las interacciones de Lean-BIM que generen beneficios en cuanto a la sostenibilidad desde la etapa del diseño y planeación.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

Según Hellen Nyaboke, Mugwima Njuguna & Charles Kabubo, Los requerimientos mundiales del sector de la construcción han aumentado el uso de los medios tecnológicos ya que estos han sido una forma adecuada de responder a la complejidad a la que se enfrentan, los resultados marcan un evidente aumento en su desempeño lo que con el tiempo ha llevado a lo que hoy conocemos como BIM convirtiéndose este en todo un nuevo mundo del diseño asistido desde un computador. (Mosse, Njuguna, & Kabubo, 2020)

Se ha determinado que el uso de este reduce de forma significativa los costos y posibles desfases que se puedan presentar en la ejecución de las obras, convirtiéndose en un generador de rendimiento. (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013)

Lo anterior ha permitido que se haga de una tendencia que al transcurrir el tiempo vaya en aumento, cabe resaltar que la mayor incidencia nace en EE.UU donde se destacan más de 786 artículos que mencionan la importancia de su empleo, donde seguido a ello se encuentran países como china, reino unido, corea del sur, Australia, Alemania, Canadá, Taiwán, Italia y Finlandia, donde haciendo un análisis general de los aportes de sus autores se ve claramente que ellos manifiestan que el dominio del BIM en el sector de la construcción tiene una gama de posibilidades enormes. (Bashar Abdal Noor, 2018)

También se han encontrado como se ha realizado estudios con el fin de medir la madurez de BIM en proyectos de construcción siendo el resultado un éxito a favor del mismo, mismo (Luo, 2014), se realizaron diferentes encuestas donde se destacan las hechas en la industria de construcción estadounidense que buscaba medir los beneficios que otorga BIM. (Becerik & Rice, 2010)

Aun así, la implementación de BIM se encuentra en sus inicios, su aplicabilidad es poca, y el despertar de su importancia no se logra, y hoy se busca adicional a todos sus beneficios promover a partir de él la sostenibilidad, equiparando su aplicabilidad con códigos energéticos. (Peng Zhou, 2018)

De manera similar se han aplicado los principios del lean construction, enfocados en la reducción de desperdicios (Huovila & Koskela, 1998), recordemos que los residuos y el uso desmedido de materiales atentan contra el medio ambiente y reduce a eficiencia del cada obra, lo que ha generado que los agentes que intervienen en el sector intenten implementar una construcción eficiente y sostenible, los países que se destacan por su uso son EE.UU, reino unido y Brasil. (Babalola, Ibem, Ezema, & Olanipeku, 2019)

Luego de destacar la importancia surgida de forma independiente nace la idea de integrarlos para obtener mejores y mayores resultados ya que con ellos se mejoraría la planificación de forma anticipada y preventiva, encontrando que entre ellas existe una

naturaleza sinérgica que mejora los procesos en cuanto a protección ambiental se refiere (Phuong Hoang, 2019), no obstante otras investigaciones han demostrado que su uso colaborativo aun esta inexplorado pues la operatividad tecnológica y de producción limpia necesita ser conocida para que su éxito sea inminente. (Pedro Saieg Faria, 2018)

Otras investigaciones han señalado la existencia de un amplio potencial en la integración de lean y BIM en la mejora de la sostenibilidad, pero estos carecen de marcos que sugieran una aplicación integrada. (Pommer & Horman, 2009)

Las problemáticas de las diferentes investigaciones surgidas en relación a los temas centrales de esta investigación son que desde la visión del BIM este sigue siendo inexplorado, lean por su parte ha sido adoptado lentamente y la sostenibilidad ha sido mirada solo desde lo ambiental, lo que conlleva que futuras investigaciones busquen una sinergia más fuerte que comprometa a toda la organización, la tecnología y la sostenibilidad desde el ambiente y lo social.

2.2 Marco Contextual

Esta tesis se llevará a cabo desde un contexto internacional de las diferentes bibliografías (libros, artículos investigativos, tesis, monografías etc.) de los diferentes estudiosos, plataformas educativas y repositorios que cuenten con los más altos estándares de calidad respecto a la veracidad de los datos consignados en sus bancos de información.

2.3 Marco conceptual

Según Aurelio Ramírez la **Sostenibilidad**, Se puede definir como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales, Para ello debe romperse con la rutina y los hábitos adquiridos por décadas por el actual sistema de construcción que no ha tenido en cuenta el papel finito de los recursos naturales. (2002)

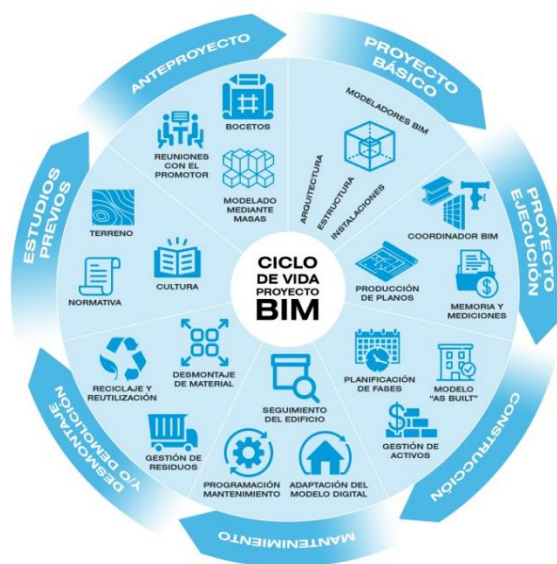
Según Domingo Acosta, La necesidad de atender e intentar resolver los problemas que afectan la calidad de vida de los actuales habitantes del planeta, sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones puedan disponer de recursos para enfrentar los suyos, es una referencia directa a la modificación del medio ambiente natural, actividad inherente a los arquitectos e ingenieros. Es un enfoque de carácter multifocal, que implica aspectos tecnológicos, políticos, sociales, económicos, ecológicos y éticos. (Acosta, 2009)

Cero Desperdicio, es un impulso creativo y esto debe enfatizarse particularmente con herramientas útiles y escalables que ya existen. Estas incluyen aquellas que permiten cuantificar materias primas secundarias, técnicas de recuperación y reciclaje, digitalizar patrones de información estructural, análisis de rentabilidad y sectores comerciales, y

aquellas que procesan y recuperan materiales valiosos. (Hillebrandt, Riegler-Floors, Rosen, & Seggewies, 2019)

Según Luis Botero & Martha Álvarez, **Lean Construction**, establece que el proceso productivo se compone de conversiones y flujos, a diferencia del sistema tradicional de producción en el que solo se consideran los primeros. Se denominan conversiones a todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos, pensando en los requerimientos del cliente, por lo tanto, en el proceso de producción son las actividades que agregan valor. Las pérdidas, por el contrario, se consideran todas las actividades que no agregan valor pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción (actividades de flujos). Como objetivo de la utilización del nuevo enfoque de producción, se encuentra el hacer más eficiente las actividades de transformación que agregan valor, minimizando o eliminando las actividades que no lo generan (pérdidas), logrando una mayor productividad en el proceso constructivo. (Botero & Villa., 2004)

Según Amy Arevalo y Jose Soto, **Building Information Modeling**, es un proceso de gestión y generación de características digitales de un edificio para producir modelos BIM, los cuales se convierten en un recurso compartido con todas las partes interesadas para mejorar en la toma de decisiones en todo el ciclo de vida del proyecto, desde la concepción del diseño, la construcción, mantenimiento y finalmente demolición. (Pizarro & Arrieta, 2022)

Figura 1*Ciclo de vida de un proyecto BIM*

Nota: Se denota las distintas fases del ciclo de vida de un proyecto bajo una metodología BIM, indicando los agentes afectados y el estado del modelo en cada fase. (Moreno, 2020)

Según Helen Saray Cárdenas Alarcón, **Diseño**, Puede entenderse como un propósito material que involucra al hombre y su contexto, a través de procesos ideológicos y ambientales con la representación y la materialización de objetos concretos a través de procesos técnico constructivos, es decir, la producción de hechos arquitectónicos. (2022)

Construcción, “Es el conjunto de artes o técnicas utilizadas para la fabricación y armado de estructuras. Sin embargo, también es considerada una construcción toda aquella obra, edificación o infraestructura que requiera de un proyecto y diseño previos” (Chávez, S.f.).

Mantenimiento, engloba a todos los trabajos que tienen el objetivo de proteger las infraestructuras de los desgastes por el tiempo y uso. Estas operaciones se deben realizar de forma periódica para asegurar el mejor rendimiento de las construcciones civiles. (P&H Construyendo soluciones, 2021)

Sinergia, La real academia de la lengua española la define como Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. (Real Academia Española, S.f.)

Interacción. “La real academia de la lengua española lo define como acción que se ejerce recíprocamente, entre dos o más objetos, personas, agentes, fuerzas, funciones” (Real Academia Española, S.f.)

Según Italo Palacios & Denny Moreno, la **Contaminación ambiental**, Representa uno de los problemas más críticos y graves en todo el mundo. En consecuencia, es necesario tomar conciencia, así como la búsqueda de alternativas para su pronta solución. Se denomina contaminación atmosférica o contaminación ambiental a la presencia de cualquier agente (físico, químico o biológico) o una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean nocivos para la salud, para la seguridad y el bienestar de la población, o puedan ser perjudiciales para los seres vivos en general. (Anzules & Castro, 2022)

2.4 Marco teórico

2.4.1 Contexto a nivel internacional

Felipe Medallo Y Eric C.W en su investigación llamada modelado de información de construcción, lean y sostenibilidad: un marco de integración para promover mejoras en la industria de la construcción, determina que BIM, lean y la sostenibilidad son tendencias actuales importantes que están siendo abordadas por el sector de la construcción y recientemente se ha propuesto que funcionan mejor cuando están integrados en lugar de tratados de forma aislada, sin embargo, no existen marcos integrales que sugieran una integración. El punto de partida para comprender este tema y llenar este vacío es sugerir un Marco integrado basado en elementos teóricos que analizan diferentes variables. (Medallo & C.w, 2020)

Rahman, M.A. Belayutham por su parte en su investigación llamada Marco de evaluación de la relación BIM-Lean: un establecimiento conceptual, concluye que BIM y Lean son dos factores críticos para mejorar el rendimiento de la construcción industria. Sin embargo, para obtener el máximo beneficio de BIM y Lean es necesario un análisis cuidadoso. Es importante comprender cómo cumplen mutuamente sus propósitos para mejorar la eficiencia. (Rahman & Belayutham, 2022)

Xun Zhang y Salman Azhar realizan una investigación llamada Utilizar el modelado de información de construcción para lograr los principios Lean mejorando la eficiencia de los equipos de trabajo del cual se ilustró las principales aplicaciones de las prácticas BIM y Lean en un proyecto real. BIM ayudó a establecer una plataforma de comunicación para los equipos de trabajo, mejoró la calidad de la coordinación, desarrolló la productividad de la eficiencia del trabajo e hizo que el proyecto fuera más seguro. Es un hecho conocido que Lean es el proceso que se centra en maximizar la productividad y minimizar el desperdicio. Los resultados de la investigación demostraron que BIM no sólo ayudó en la detección de conflictos, sino que también ayudó en el desarrollo de valor agregado flujo de trabajo a través de la coordinación y comunicación del equipo de trabajo.

Mollasalehi, S., Fleming, A., Talebi, S, y Underwood, J, en su trabajo Desarrollo de un marco experimental de residuos basado en el concepto Bim/Lean en el diseño de la construcción hallaron que El concepto BIM y Lean es ampliamente conocido en la industria de la construcción y se descubrió que la integración de estos dos conceptos traería muchos beneficios a la construcción en términos de identificar y reducir los residuos de la construcción. Los resultados indicaron que los residuos enfoque de reducción a través de un enfoque integrado BIM y Lean tendría muchos Beneficios potenciales para superar algunos de los problemas de construcción. (Mollasalehi, Fleming, Talebi, & Underwood, 2016)

Renato Nunes Mariz y Flavio Augusto Picchi en su investigación, Implementación de prácticas lean facilitadas por funcionalidades BIM en la fase de construcción: avances y oportunidades, encontraron que las implementaciones Lean dependen de que las personas

comprendan los principios Lean el por qué y cómo pueden aplicarlo a su entorno y necesidades empresariales, implementándolo de forma operativa de otro lado el uso adecuado de BIM y sus funcionalidades para respaldar las prácticas lean, es un facilitador importante de transformaciones lean exitosas.

Para comprender sistemáticamente lo que ya se ha hecho y las oportunidades potenciales, se necesita un conjunto de prácticas lean y funcionalidades BIM para una verificación cruzada de la cobertura de las aplicaciones. (Mariz & Picchi, 2021)

2.4.2 Contexto a nivel nacional

Gómez-Sánchez, J.M., Ponz-Tienda, J.L. y Romero-Cortés, dicen que Cada implementación (BIM y Lean) solo resuelve una parte del problema. Sin embargo, la implementación simultánea expuso al equipo a experiencias más excepcionales. Frustraciones, oportunidades de mejora y lecciones aprendidas. En primer lugar, Lean requiere un liderazgo agudo del facilitador y otras habilidades “blandas” que permitan Motivación y estímulo para cambiar la mentalidad del equipo hacia nuevas formas de trabajar. Aparte de eso, la programación de fase inversa (sistema pull) que se ha vuelto estrechamente asociado con la producción lean no siempre es la mejor alternativa, especialmente en lean proyectos piloto de construcción. Por el contrario, la selección del mejor método debería depender en cada etapa de producción, por lo que los métodos aplicados son sistemas mixtos push-pull, ya que sucedió en el presente estudio de caso, En

segundo lugar, si las herramientas BIM no se implementan y gestionan adecuadamente, pueden suponer un proceso más difícil e inestable, pero cuando ambas se integran permiten comparar sus capacidades actuales y permitirles planificar el futuro, y los logros pueden medirse y controlarse. (Sánchez, Tienda, & Cortés, 2019)

Miguel Ángel Borda Zambrano determina en su investigación interacción lean-BIM para el diseño de metodología de gestión de proyectos de construcción en etapa de planificación y ejecución concluye que la sinergia generada por estas dos herramientas, genera una proyección visual de todo un entorno constructivo proyectado o en tiempo real para facilitar las programaciones mediante LPS, la retroalimentación y la mejora continua apoyado en un modelo 4D que integra todos los medios visuales a detalle en compañía de las fases, fechas e hitos de cada uno de los entregables del proyecto. (Zambrano Borda, 2022)

Las dos herramientas proveen una práctica colaborativa, pero para que estas prácticas sean exitosas es necesario realizar una etapa previa de capacitación a todo el equipo del trabajo con el objetivo de familiarizar a todo el grupo para permitir una implementación más exitosa. Esto se logra a través de un liderazgo comprometido y positivista. (Zambrano Borda, 2022)

Morán Muñoz Valery De Dios y Pinilla Diaz Lorena en su investigación sistema de gestión bim-lean: efectos de su aplicación en el desarrollo de proyectos de construcción

civil, dicen que ambas estrategias se pueden complementar la una con la otra y por lo tanto aumentar aún más la productividad del proyecto de construcción. El modelo de BIM-Lean representa una técnica para mejorar exponencialmente la productividad de una empresa de construcción. Esta metodología permitiría avanzar más rápidamente en los proyectos que se desarrollen dentro de Colombia además de mostrar que realmente funciona para tener un mejor aprovechamiento de los recursos de los que la empresa disponga. (Muñoz & Díaz, 2022)

Ana María Lara García y Jonathan Alejandro Nieto Vargas realizaron una investigación llamada sinergias y aplicación de las metodologías y principios de lean construction, bim y construcción sostenible, para la mejora y progreso de la industria de la construcción la cual dio como conclusión lo siguiente la metodología BIM facilita la adopción de Lean Construction, y la contribución eficaz en las decisiones sostenibles de los proyectos. Al integrar principios de valor para el cliente, creación de procedimientos en búsqueda de la perfección, estandarización y mejora continua del proceso. La adopción de BIM en los ciclos de vida del proyecto optimiza significativamente la visualización del proyecto en cualquiera de sus fases. (García & Vargas, 2021)

2.5 Marco Legal

Es importante para hablar del marco normativo recordar que el sector de la construcción a nivel mundial es uno de los mayores consumidores de energía y por ende

un sector reconocido como altamente contaminante, esto ha llevado a que resaltando su importancia en el progreso de los países, el desarrollo de la sociedad y aunado a este el alto índice de empleabilidad es importante que él se tenga en cuenta por el COP el cual es La Conferencia de las Partes es la Cumbre Anual que realiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) donde se reúnen los 196 países más la Unión Europea que conforman a las Partes.

En esta convención se planteó como meta que para el 2030 se debe cumplir con la meta de reducción de un 20% del consumo por el sector de la construcción. De esta meta planteada se establecen unos objetivos de desarrollo sostenible, también llamados objetivos mundiales, cuyo fin está encaminado a proteger el planeta. (Colombia potencia de la vida, 2021)

Figura 2
Objetivos de desarrollo sostenible



Nota: Se denota cada objetivo de desarrollo sostenible. (Organización de las Naciones Unidas, 2015)

Partiendo de los 17 objetivos nacen las políticas que hoy rigen a Colombia en cuanto a la sostenibilidad dentro de estas políticas encontramos las siguientes.

CONPES 3919 Plan Nacional De Edificaciones Sostenibles, Se trata de un documento que busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y en todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones, a través de ajustes normativos, la promoción de incentivos económicos y define mecanismos de seguimiento a este mercado con un horizonte de acción al 2030. El documento Conpes establece tres fases a corto, mediano y largo plazo de la política: dos años para la definición de los criterios de

sostenibilidad para todos los tipos de edificaciones (nuevas y usadas) en el ciclo de vida; cinco años para la implementación del sistema de seguimiento y control y, al 2030, el 100 % de vivienda nueva con criterios de sostenibilidad. Para efecto del cumplimiento de los objetivos de este documento, las entidades involucradas en su implementación gestionarán y priorizarán, en el marco de sus competencias, recursos para la financiación de las actividades que se proponen en el Plan de Acción y Seguimiento (PAS). (Consejo Nacional de Política económica y social, 2018)

Decreto 1285 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, este decreto entra a dar respuesta al artículo 80 de la Constitución Política, el Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución, así como cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas fronterizos. (artículo 80 de la Constitución Política, 2015)

Resolución 549 de 2015 Por medio de la cual se definen los requisitos de sostenibilidad, estableciendo los siguientes. (Resolución 549, Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2015)

Figura 3
Requisitos de sostenibilidad

CERTIFICACIÓN	PARÁMETROS DE SOSTENIBILIDAD	CALIFICACIÓN	NIVELES DE CERTIFICACIÓN
EDGE	- Agua - Energía - Materiales	- $\geq 25\%$ / 17 posibles medidas - $\geq 25\%$ / 34 posibles medidas - $\geq 20\%$ / 11 posibles medidas	- Básico: $\geq 25\%$ en agua, 25% energía y 20% materiales - Advanced - Zero Carbon
CASA COLOMBIA	- Proceso integrativo de diseño - Sostenibilidad en el entorno - Sostenibilidad en obra - Eficiencia de recursos - Eficiencia en agua - Eficiencia en energía - Eficiencia en materiales - Bienestar - Responsabilidad social	- 1 medida / 2 puntos posibles - 7 medidas / 17 puntos posibles - 4 medidas / 4 puntos posibles - 1 medida / 4 puntos posibles - 6 medidas / 14 puntos posibles - 6 medidas / 23 puntos posibles - 5 medidas / 15 puntos posibles - 7 medidas / 14 puntos posibles - 4 medidas / 8 puntos posibles	- Bueno: Lineamientos obligatorios - Muy bueno: 20-39 puntos - Sobresaliente: 40-59 puntos - Excelente: 60-79 puntos - Excepcional: + 80 puntos
LEED	- Proceso integrativo - Ubicación y transporte - Sitios sustentables - Uso eficiente de agua - Energía y atmósfera - Materiales y recursos - Calidad ambiental interior - Innovación - Prioridad regional	- 1 medida / 1 punto posible - 8 medidas / 16 puntos posibles - 7 medidas / 10 puntos posibles - 7 medidas / 11 puntos posibles - 10 medidas / 33 puntos posibles - 6 medidas / 13 puntos posibles - 11 medidas / 16 puntos posibles - 2 medidas / 6 puntos posibles - 4 medidas / 4 puntos posibles	- Básico: 40-49 puntos - Plata: 50-59 puntos - Oro: 60-79 puntos - Platino: 80-110 puntos
HQE	- Energía y economía - Medio ambiente - Salud y seguridad - Confort	- 3 objetivos - 4 objetivos - 3 objetivos - 4 objetivos	- Pass: 14 prerequisites - Good: 14 prerequisites + 1 a 4 estrellas - Very good: 14 prerequisites + 5 a 8 estrellas - Excellent: 14 prerequisites + 9 a 11 estrellas - Exceptional: 14 prerequisites + 12 a 16 estrellas

* ER: Energías Renovables

Nota: Descripción detallada de energías renovables. (Ministerio de Vivienda, 2015)

Muestra entonces las medidas estratégicas es decir medidas pasivas que incorporan el diseño y las activas en relación al consumo de energía, las cuales son eficientes si se desarrollan desde el diseño junto con el compromiso de todo el equipo involucrado en el Proyecto, los cuales son fines del propósito del BIM y lean, destacando entonces que su integración y ubicación de puntos de interacción permitirán crear metodologías que apunten a una construcción sostenible.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación será de tipo mixto, que combina una etapa inicial de carácter documental o bibliográfica, que permitirá analizar los procesos constructivos y evaluar la implementación del BIM y Lean utilizadas en el proyecto la Casona El Panche. Una etapa posterior de aplicación práctica, permitirá medir la eficiencia de reducción de desperdicios mediante indicadores específicos. Tendrá un enfoque explicativo donde se analizará la relación de la aplicabilidad de estas herramientas para futuros proyectos.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población se compone de todos los proyectos que sean aplicables para la implementación de la metodología BIM y Lean Construction en Colombia. En este caso específico, la empresa LG Construcciones, pretende aplicar a sus proyectos estas herramientas, siendo entonces en primer lugar, los casos en que esta empresa tenga su alcance.

3.2.2 Muestra

La muestra está conformada por el proyecto Casona El Panche, el cual será donde se apliquen la metodología BIM y Lean Construction. Así mismo, serán los participantes del proyecto, ya que estos estarán involucrados en los procesos constructivos, los cuales serán evaluados en su eficiencia.

Como técnicas de recolección de información para la elaboración del trabajo de grado en mención, es la revisión bibliográfica, donde se analizaran libros, artículos y documentos relacionados con Lean Construction, BIM, las consultas a profesionales como expertos en Lean Construction, BIM para analizar de qué manera han implementado estas metodologías en sus proyectos de construcción, adicionalmente el estudio de casos de proyectos de construcción que hayan implementado Lean y BIM en la etapa de planeación y diseño.

Los instrumentos de recolección van desde la elaboración de cuestionarios específicos para evaluar el conocimiento y la percepción de los profesionales sobre la integración de Lean y BIM, la creación de matrices que comparen los principios y beneficios de Lean y BIM, destacando áreas de convergencia y divergencia, el registro de Observaciones con el fin de destacar las interacciones notas y desafíos encontrados.

3.4 Análisis de la información

Se enumerarán todas las fuentes de información relevante incluyendo detalles como el autor, título, resultados y cualquier otra información relevante para el desarrollo de los objetivos, para posteriormente aplicar la interacción en el proyecto Casona El Panche de la empresa LG. Dicha aplicabilidad estará basada en una clasificación de relevancia y naturaleza de la información filtrada, para que desde ese punto la identificación de los patrones emergentes, las conexiones y relaciones encontrados entre LEAN CONSTRUCTION, BIM y la sostenibilidad sean clave para encontrar los resultados deseados.

3.5 Cronograma de actividades

Tabla 1

Cronograma de actividades

Objetivos	Actividades por objetivo	Duración
Modelar el proyecto de construcción Casona El Panche en BIM, para la identificación de los procesos constructivos y optimización de mejoras	1. Revisión documental sobre las herramientas a utilizar 2. Análisis de documentos técnicos 3. Revisión de libros especializados en BIM y Lean 4. Revisión de casos de estudio. 5. Análisis del proyecto Casona El Panche	4 meses

en la etapa de planificación y diseño	6. Identificación de procesos constructivos	
	7. Evaluación preliminar de desperdicios	
	8. Integración de la información de construcción creando un modelo en 3D en BIM	
Aplicar herramientas Lean Construction en el proyecto de construcción Casona El Panche, para identificar y eliminar desperdicios en la etapa de planificación y diseño	1. Mapeo de flujo de valor	3.5 meses
	2. Identificación de actividades sin valor agregado	
	3. Propuesta de mejoras de procesos del proyecto	
	4. Simulaciones de escenarios	
	5. Análisis de variantes constructivas	
	6. Cuantificación de mejoras	
	7. Enmarcar las características de las variables más representativas, enfatizando sus características y beneficios de su aplicabilidad.	
Generar indicadores que demuestren el valor de la integración Lean Construction-BIM para producir documentación técnica que sirva como guía de implementación en proyectos futuros	1. Comparativa de la metodología aplicada con la tradicional en cuanto a mejora de eficiencia y desperdicios	1 mes
	2. Indicadores de eficiencia que permitan evaluar la aplicabilidad	
	3. Documento donde se evidencien y expongan los resultados que sirva para proyectos futuros	

Conclusiones y resultados	1- Redacción de los resultados finales y conclusión del proyecto	0.5 meses
----------------------------------	--	-----------

Capítulo 4. Resultados

4.1 Modelamiento del proyecto de construcción Casona El Panche en BIM, para la identificación de los procesos constructivos y optimización de mejoras en la etapa de planificación y diseño

En el desarrollo del primer objetivo se identificó los procesos constructivos que corresponden al proyecto, los cuales fueron necesarios para montar el modelo 3D, ya que, a partir de ahí, se identificaron desperdicios y oportunidades de mejora según la filosofía Lean Construction.

4.1.1 Identificación de procesos constructivos

El proyecto consiste en la remodelación de La Casona el Panche, donde se realizará una intervención a una edificación de tipo patrimonial, el cual representa un valor histórico y cultural por su antigüedad. Con el objetivo de conservar parte de su estructura tradicional, se realizará una modernización de los espacios para adaptarlos y puedan funcionar de manera adecuada. Entre las actividades principales, se tiene una adecuación de locales, cambios en la casona principal, la plazoleta y baños para uso público.

Es por ello que se tienen diferentes procesos constructivos que son importante definir, así como lo es, la demolición de elementos deteriorados, reconfiguración de los

espacios interiores para darle una mejor funcionalidad, reforzamiento estructural de los muros de tapia y bareque con un enmallado de acero y pañete, otras actividades como la instalación de cubiertas tipo teja, con trabajos adicionales hidráulicos y eléctricos, enchapes, pintura y acabados en carpintería metálica.

La identificación de los procesos constructivos, se registró con su respectiva nomenclatura en un organigrama de actividades, las cuales se muestran en la tabla 2

Tabla 2

Procesos constructivos del proyecto Casona El Panche

Numero de actividad	Fases	Actividad
1	Movimiento de tierras y demolición	
1.1		Localización y replanteo
1.2		Excavación para antepiso
1.3		Demolición de muros y acabados obsoletos
1.4		Retiro de escombros
2	Cimentación y reforzamiento estructural	
2.1		Armado de acero de refuerzo para zapatas, vigas y columnas
2.2		Construcción zapatas, vigas y columnas
2.3		Reforzamiento de muros de tapia y bareque
2.4		Elaboración de pedestales de concreto
3	Mampostería y cerramientos	
3.1		Muros de mampostería en bloque H10
3.2		Muros de mampostería en ladrillo macizo
3.3		Pañete
4	Cubierta y estructura metálica	
4.1		Instalación de estructura metálica para cubierta

4.2		Instalación de redes agua potable y sanitaria
4.3		Instalación de cubierta con teja
4.4		Inmunización y laqueado de cubierta
5	Acabados	
5.1		Antepiso de concreto
5.2		Instalación piso con tableta de gres
5.3		Piso requemado
5.4		Instalación de tanque de agua potable de 2000 litros
5.5		Instalación de sanitarios
5.6		Instalación de puertas en acero inoxidable
5.7		Estuco
5.8		Pintura
5.9		Enchapes para baños

A continuación, se detallan estas actividades como parte de la identificación de los procesos constructivos del proyecto Casona El Panche, los cuales deben quedar definidos para conocer materiales o descripciones técnicas a tener en cuenta. Posteriormente, esta información brindará oportunidades de mejora para evitar retrasos en las demoras o esperas no controladas por procesos indebidos.

4.1.1.1 Movimiento de tierras y demolición. Este capítulo contiene la primera fase de la remodelación de la Casona el Panche, una fase previa que se tiene identificada como parte fundamental y con posibilidades de generar retrasos posteriores, ya que de como se reciba cada actividad, depende la celeridad y calidad de las demás.

4.1.1.1.1 Localización y replanteo. Partiendo de los planos arquitectónicos, esta actividad representa trasladar las dimensiones y características de las remodelaciones y características nuevas del proyecto, permitiendo alinear lo establecido. Esta actividad se apoyará de materiales como la cintra métrica, estación de teodolito, estacas de madera, pintura en aerosol, etc. Con esta actividad se pretende verificar los puntos y cotas en los planos, documentando y reportando cualquier inconsistencia encontrada para su debida corrección.

La unidad de medida será en metros lineales (ml), así como se tiene previsto para la forma de pago de esta actividad. Al finalizar este ítem, se espera un documento con las coordenadas y niveles replanteados, firmado por el técnico o profesional responsable del levantamiento topográfico. El modelo 3D generado, permite de igual forma realizar ajustes en caso de estos se requieran al momento de replantear los puntos.

4.1.1.1.2 Excavación para antepiso. En la construcción del antepiso se retirará la zona vegetal para luego compactar el fondo y se pueda disponer de una base firme para la fundición del mismo. Al ser un espesor de menos de 5 cm, se usará herramienta menor (pala, pica y pisón) para la actividad, siendo esta la unidad de medida en metros cúbicos. La superficie a entregar, debe estar compactada, libre de materiales sueltos o inestables, con el cumplimiento de la cota y dimensiones especificadas en los planos. La cantidad a excavar es una actividad con poca probabilidad de retrasos, con posibilidad de mejora para las demás actividades

4.1.1.1.3 Demolición de muros y acabados obsoletos. Los elementos estructurales no funcionales o deteriorados, en este caso son muros, revestimientos y acabados, deberán ser retirados, cuidando de preservar las que si se mantendrán. Al ser diferentes elementos, se usarán mazos, cinceles, cortadora eléctrica, andamios y escaleras, así como elementos de protección en alturas. En este caso, la demolición se realizará de arriba hacia abajo de forma controlada y se clasificarán y acopiarán en un sitio destinados para los residuos. Se debe tener precaución de desconectar instalaciones eléctricas o hidráulicas.

La condición de entrega deberá tener las áreas demolidas libres de escombros y estructuras remanentes sin daños y en condiciones adecuadas para las posteriores fases de construcción. En esta actividad, no se tiene probabilidad de desperdicio y demoras.

4.1.1.1.4 Retiro de escombros. La recolección, transporte y disposición final de los escombros, se deberá realizar de acuerdo a la normativa ambiental vigente, resolución 0472 de 2017. En esta actividad, se usarán carretillas, palas y una volqueta que realice la disposición final. Al finalizar, el sitio de escombros deberá quedar limpio y sin acumulaciones, con la entrega de un documento de respaldo de la disposición final en botadero autorizado.

4.1.1.2 Cimentación y reforzamiento estructural. Esta fase 2, se enmarca en la parte estructural del proyecto, posiblemente la que mas tiempo requiere y con oportunidades de mejora a identificarse, ya que aquí también se puede evitar gran parte de los desperdicios de materiales, como concreto y acero.

4.1.1.2.1 Armado de acero de refuerzo para zapatas, vigas y columnas. En esta actividad se realizará el corte, doblado y armado de los elementos estructurales que compondrán la estructura de la casona a remodelar, estos son vigas, columnas y zapatas. El acero de refuerzo debe cumplir con la norma ASTM A615 o que el proveedor suministre información sobre el cumplimiento de la normativa. Se debe tener también herramientas como cortadora, dobladora, alambre, guantes, tenazas, etc.

Durante el armado, se debe verificar las dimensiones según el plano estructural, para luego arma en sitio en la posición correspondiente. Al final, el acero debe estar firmemente amarrado con flejes en separaciones correspondientes, que no tenga ningún tipo de obstrucciones.

4.1.1.2.2 Construcción zapatas, vigas y columnas. Esta actividad comprende el vaciado de concreto estructural, incluye la formaleteada de los elementos estructurales. La resistencia del concreto debe ser de 3000 psi. También a posterior, el curado es parte fundamental de esta actividad.

Al momento de vaciado de la mezcla, se debe verificar la toma de muestras para ensayos, de esta manera se pueda controlar que se cumpla con la resistencia mínima, así como entregar cada elemento estructural con superficies sin segregaciones o vacíos.

4.1.1.2.3 Reforzamiento de muros de tapia y bareque. Esta actividad hace parte de la preservación de la estructura original, por lo tanto, requiere un control especial. Este paso, requiere de pañete con malla electrosoldada, de manera que se pueda fijar de forma adecuada, porque lo que se quiere es reforzar los muros ya existentes. Acá se requiere de elementos como andamios y de protección en alturas, así como mortero, brochas, espátulas, palustres.

Los muros deben ser entregados con una superficie uniforme, bien adherida y sin fisuras, la malla debe estar completamente anclada y cubierta.

4.1.1.2.4 Elaboración de pedestales de concreto. Estos pedestales de concreto servirán para servir de base a las columnas en la parte superior, de manera que soporten la cubierta y para la parte de la plazoleta como apoyo a las columnas y en corredores. La resistencia del concreto sigue siendo de 3000 psi y en este caso, se usará formaleta de madera, ya que el tamaño de estos pedestales es mucho mas pequeño. La unidad de medida y de pago, será por pedestal ejecutado y las condiciones de entrega deben mostrar una superficie lisa y en la ubicación exacta de los planos correspondientes

4.1.1.3 Mampostería y cerramientos. En la fase de mampostería, el ladrillo significa un punto importante en la identificación y control de desperdicios, pudiendo encontrar mejores oportunidades para evitar ciertas inconsistencias en el proceso constructivo. Al mismo tiempo, su adecuada ejecución también evita posibles desperdicios de pañete al momento de alinear los muros, cubriendo con mortero para un acabado final.

4.1.1.3.1 Muros de mampostería en bloque H10. Estos muros harán parte de los cerramientos internos o divisiones, de manera que la parte externa no se vea afectada su arquitectura colonial. Para este proceso se requiere bloque H10 (390x190x140mm), mortero de pega y herramientas de alineación como nivel y plomo, garantizando la verticalidad del muro. La unidad de medida es m² y se recibirá la entrega con juntas uniformes, limpias y alineadas, así como una verticalidad adecuada, listo para recibir el pañete.

4.1.1.3.2 Muros de mampostería en ladrillo macizo. Este tipo de muros, se usan como decorativos internos para crear subdivisiones en los diferentes entornos que componen el proyecto. Similar al procedimiento anterior, los materiales varían en el ladrillo macizo y se mantiene la unidad de medida. En el caso de las condiciones para entrega, se debe garantizar un muro estable con juntas completas y niveladas, así como una correcta verticalidad, listo para recibir un acabado, puesto que este tipo de muro es ladrillo a la vista y su calidad debe ser superior, evitando ladrillos descascarados o fisuras visibles.

4.1.1.3.3 Pañete. El pañete requiere de una o dos capas de mortero, según se encuentren alienados los muros previos, protegiendo y permitiendo que se realicen otros acabados como el estuco y pintura. Las herramientas a usar involucran el palustre, llana, regla metálica y demás. La unidad de medida es el m² y para un adecuado recibimiento, la superficie debe quedar semi rugosa, con un espesor uniforme, sin grietas o desprendimientos, sin vacíos al medirse con la regla metálica y manteniendo las proporciones entre los demás muros.

El área a cubrir se puede identificar a través del modelo 3D, calculando de forma más precisa la cantidad de material que se debe utilizar, evaluando que no se tengan mayores desperdicios.

4.1.1.4 Cubierta y estructura metálica. Esta fase requiere una gran precisión para la instalación de los elementos metálicos y de tuberías que posteriormente, harán parte de la cubierta de la casona principal. Este trabajo requiere una vigilancia detallada para evitar grandes desperdicios, ya que esto implicaría reemplazar los elementos metálicos, lo que implica grandes sobrecostos y demoras.

4.1.1.4.1 Instalación de estructura metálica para cubierta. Este proceso se compone del montaje de perfiles tubulares, canales, vigas y correas que sirven de soporte a la cubierta, requiriendo de soldadura para unir y fijar cada componente. Es importante disponer de andamios y escalera, así como elementos de protección personal. Si no hay contratiempos externos, como falta de materiales, luz eléctrica etc, esta actividad mantendrá una labor fluida y segura. Las condiciones para la entrega deben contener una estructura alineada, nivelada y sin deformaciones, con uniones seguras y sin presencia de corrosión.

4.1.1.4.2 Instalación de redes agua potable y sanitaria. Las tuberías que recogen aguas lluvias y las redes de agua potable, pasarán por encima del cielo raso, por lo que se debe fijar y definir estas redes de agua. Todo el material de PVC debe tener certificación, si no solicitarse al proveedor. Estas tuberías deben instalarse según los planos correspondientes y realizar planos records para verificar la posición exacta de una red de agua potable o de agua lluvias. Al final, la red completa no debe tener fugas ni fisuras, habiendo completado la prueba por gravedad y presión, correctamente replanteada y funcional.

4.1.1.4.3 Instalación de cubierta con teja. La cubierta será cubierta por teja tipo Master Mil, sobre la estructura metálica y correctamente fijada. Se debe consultar los traslajos según el fabricante y verificar que los tornillos sean autoperforantes para la fijación. Cuando se encuentre finalizada, no deberá mostrar desperfecciones y estar correctamente alineada y sin filtraciones.

4.1.1.4.4 Inmunización y laqueado de cubierta. Para prolongar la vida útil de la cubierta, se requiere un tratamiento superficial para prevenir plagas y mejorar su apariencia. Esta actividad requiere de brochas, rodillos y equipos de protección personal, para poder entregar una uniformidad en el acabado de la cubierta y sin olores excesivos, seca al tacto y sin manchas.

4.1.1.5 Pisos y Acabados. En esta última fase, el procedimiento es importante para generar una mejor calidad, puesto que representa la parte estética de la obra. Acá cada actividad significa un gran control y costo del proyecto, puesto que los acabados son procesos de terminación y sus materiales tienen precios mas elevados, por lo que es importante evitar cualquier tipo de desperdicio. Por tal motivo, en esta fase se pueden presentar grandes oportunidades para retrasar o avanzar el cronograma de ejecución.

4.1.1.5.1 Antepiso de concreto. El antepiso a instalar en la plazoleta y la sección de los locales, debe alcanzar una resistencia de 2000 psi. Esta capa de concreto debe nivelarse muy bien con llana y regla metálica. Se debe colocar formaleta si aplica y humedecer el suelo antes de vaciar. Al final, la superficie debe estar nivelada y sin fisuras.

4.1.1.5.2 Instalación piso con tableta de gres. Una vez se tenga instalado el antepiso, en la zona interna de la casona, se realiza este revestimiento con tableta de gres con pegante de porcelanato para uso interior. Se debe marcar adecuadamente las juntas para posterior llenado. Es importante delimitar y marcar bien las tabletas que se van a cortar para evitar desperdicios de material. La superficie a recibir debe ser uniforme, sin piezas sueltas o desniveles.

4.1.1.5.3 Piso requemado. En la parte de la plazoleta, se decide realizar un acabado con piso requemado y no con tableta, determinando esta decisión en la gestión de los costos. Esta actividad no representa gran relevancia en el desperdicio de material y se acepta una superficie lisa con pocas fisuras.

4.1.1.5.4 Instalación de tanque de agua potable de 2000 litros. Se reemplazará el tanque de almacenamiento por uno de 2000 litros de polietileno, para el almacenamiento de agua potable, ya que ahora deberá abarcar más tránsito de personas y uso del agua. Se debe garantizar una base nivelada, un llenado adecuado y sin fugas para su funcionalidad.

4.1.1.5.5 Instalación de sanitarios. El montaje de equipos sanitarios, implica gran cantidad de accesorios y tubos en PVC, así como oportunidades de perder materiales que pueden tener un alto costo. Es por ello que este tipo de actividades debe cubrirse con mano de obra capacitada y sin que implique sobreesfuerzos, para garantizar un trabajo seguro y de calidad. Esta actividad se mide por unidad instalada y debe presentarse al finalizar sin fugas, correctamente alienado y funcional.

4.1.1.5.6 Instalación de puertas en acero inoxidable. El montaje de las puertas metálicas, requiere de un marco metálico bien posicionado, garantizando una adecuada instalación de la puerta. El acabado del marco, debe ser limpio y estético. Esta actividad se mide por unidad instalada y requiere de soldadura, taladro, destornillado y demás. Se debe verificar que la apertura y cierre sea sin fricciones, con las puertas sin manchas, con un marco liso y limpio.

4.1.1.5.7 Estuco. El estuco es una capa delgada de mezcla pastosa, que se aplica sobre muros previamente pañetados. En este caso se debe dejar una superficie limpia y lisa para la pintura, sin imperfecciones. Se realiza en diferentes capas y la medida del área a estucar a través del modelo 3D, debe indicar la correcta cantidad de estuco, para evitar desperdicios en el material. La forma en que se paga esta actividad es en metro cuadrado, por lo que tradicionalmente se mide nuevamente cada muro estucado para el pago correspondiente. Es por ello que, teniendo un modelo digital, se puede tener de forma más rápida las áreas cubiertas y contrastar con el contratista que realiza la actividad.

4.1.1.5.8 Pintura. La pintura es un acabado que se aplica después del estuco, en este caso aplica para los muros divisores del interior. Al igual que el estuco, el modelo 3D resulta mucho más útil que en otras actividades, ya que se puede sacar las áreas a aplicar pintura de forma más precisa al momento de saber cuánto material comprar y utilizar, así como el contraste con el contratista que cobra por área ejecutada. La superficie que se espera debe ser sin manchas, imperfecciones, zonas descubiertas y un color uniforme.

4.1.1.5.9 Enchapes para baños. Esta actividad, al igual que el estuco y pintura, representa una oportunidad de mejora al usar métodos tradicionales, puesto que la forma en que esta se cobra es por área de enchape. En ese caso, el modelo 3D brinda precisión al momento de determinar esas áreas, aunque es evidente que se deba contrastar con lo ejecutado por el contratista. Punto más importante, es el cálculo de enchape a colocar, ya que la medida exacta desde el modelo digital, brinda celeridad y menos desperdicio cuando se toma de aquí que al medir manualmente en la manera tradicional.

4.1.2 Evaluación de desperdicios

Bajo la filosofía Lean Construction, se identifican diferentes tipos de categorías en las que se pueden conocer los desperdicios. Cada uno de estos se puede asociar a diferentes actividades en las que la probabilidad de ocurrir, tiene un porcentaje. Es por ello que en el siguiente numeral, se puede asociar una oportunidad de mejora a estos tipos de desperdicios, como se pueden detallar a continuación:

4.1.2.1 Esperas y retrasos por materiales. La compra y adquisición de materiales puede generar interrupciones en la ejecución de actividades y ocasionar reprogramaciones, ya que pueden existir tiempos de espera mientras se repone un material o mientras se consigue el dinero para su compra, lo que afectaría el flujo de trabajo. En el proyecto, varias de estas actividades dependen del material en obra.

4.1.2.2 Defectos y retrabajos. Cuando no existe una coordinación entre diferentes especialidades, ya sea en trabajos de procesos constructivos o decisiones administrativas, esto genera cambios en la obra y conflictos durante la ejecución, lo que ocasiona defectos en la entrega de los procesos para el caso de la mano de obra o retrabajos entre los profesionales por la mala coordinación. De igual manera, al integrar tecnologías BIM y no se cuenta con una compatibilización de los planos estructurales, arquitectónicos y demás, se ocasionan inconsistencias durante la ejecución.

4.1.2.3 Almacenamiento y transporte de materiales ineficiente

La ubicación del almacenamiento de los materiales, debe ser en un sitio de fácil acceso y en cercanías de las actividades a realizar, así como un sitio que no tenga dificultades para acceder, ya que de esto depende la seguridad de la mano de obra y la

celeridad con que se transportan los materiales, evitando desperdicios durante el recorrido, en el caso de una caída de materiales como ladrillos o baterías sanitarias.

Un buen sitio permite evitar traslados repetitivos de herramientas y equipos dentro de la obra, ocasionando retrasos e incrementando el tiempo de ejecución. Así mismo, se ve involucrada la seguridad de los trabajadores que acceden todo el tiempo a buscar materiales o herramientas. Se puede dar el caso de que, en estos almacenamientos, se aniden animales que perturben el andar del personal o poniendo en riesgo su vida en caso de mordeduras por serpientes.

4.1.2.4 Desperdicio de capacidades humanas en tareas. Existen actividades en las que se coordina una cuadrilla para ejecutar las tareas. En caso de que en estos grupos de trabajo no se tenga el personal necesario, puede ocurrir que los líderes de estas cuadrillas asuman actividades propias de los ayudantes, desperdiciando potencial en otras tareas que requiera a alguien capacitado para realizarlas y de esta manera, se tengan retrabajos o retrasos por diferentes procesos.

En caso contrario, cuando el personal no está capacitado, se toman decisiones tempranas que afectarán los resultados más adelante, ocasionando defectos técnicos en los elementos de la obra y llevando el proceso a retrabajos por parte del mismo personal o de otras cuadrillas. Es por eso que durante la planificación se debe organizar y definir el

personal, con documentos que validen su experiencia en diferentes tipos de habilidades o programar capacitaciones en caso de sitios donde la mano de obra sea escasa.

4.1.2.5 Actividades que no son optimizadas. En la supervisión y control de obras, una de las actividades más repetitivas y de duplicidad de tarea, es el levantamiento de información, en el caso más común, medidas repetitivas para trasladar de un plano al sitio de la obra. En consecuencia, esto ocasiona imprecisiones en la ejecución de procesos constructivos por falta de integración de herramientas digitales como la metodología BIM desde la fase inicial, así como la supervisión en tiempo real a través de estas tecnologías.

Además, cuando ocurren cambios por decisiones administrativas, se crea un diseño nuevo que debe ajustarse, dejando inconsistente las medidas y demás elementos. Esto debe replantearse con herramientas digitales que realice ajustes en los diferentes planos que se tienen para entregar unos adecuados planos records que representan el producto final con la mejor precisión que las herramientas digitales pueden proporcionar.

4.1.3 Oportunidades de mejora

Una vez se tiene los diferentes tipos de desperdicios identificados, se pueden conocer oportunidades de mejoras que pueden optimizar y mitigar estos retrasos en los proyectos de construcción.

4.1.3.1 Integración de metodología BIM para optimización de diseños. De los desperdicios identificados en el numeral anterior se encuentran tecnologías que permiten optimizar y realizar una supervisión más precisa, implementado un modelo colaborativo BIM para mejorar la coordinación de las decisiones que se toma entre las diferentes especialidades desde la etapa de diseño, de esa manera, se evitan interferencias en obra o se tenga que realizar consultas de manera coordinada para aclarar situaciones que se presenten en campo.

El modelo colaborativo, permite como herramienta optimizar cronogramas a través de una simulación digital para facilitar tareas y mejorar la coordinación y ejecución de las mismas, identificando rutas que prioricen tareas y ofrezcan mejoras en la planificación del cronograma en campo.

4.1.3.2 Estrategias desde la filosofía Lean Construction. Como parte de la filosofía Lean Construcción, se puede implementar el Last Planner System (LPS) para mejorar la planificación semana de las actividades y reducir los tiempos de espera en las oportunidades de mejora detectadas. De igual manera, como apoyo a este sistema, se implementan mapeos de flujo de valor para identificar cuales son las actividades que no tienen un valor agregado y poder encontrar una oportunidad de mejora para reducir estos retrasos.

4.1.3.3 Optimización de materiales y eliminación de residuos. El sistema de aplicación Just in Time para el suministro de materiales, permite evitar sobre inventarios y deterioro de los suministros como estrategia para la optimización de los materiales. De esa forma, también se puede aplicar para establecer estrategias de reciclaje y reutilización de materiales.

Es importante tener en cuenta que esto debe apoyarse con capacitaciones al personal de obra para hacer una adecuada comunicación de las estrategias a implementar que parten del Lean Construction, de manera que quede bien coordinada. Esto garantiza que se lleven de forma planificada las oportunidades de mejora implementadas en este capítulo.

4.1.3.4 Logística de almacenamiento. La ubicación estratégica del centro de acopio de materiales es una tarea importante para evitar desperdicio de materiales, transporte innecesario y desplazamientos forzosos. Para ello se debe tener en cuenta que minimizar los traslados requiere un punto estratégico en la obra para llevar a cabo esta estrategia.

Esta oportunidad de mejora, se apoya en el diseño de un plan de flujo de trabajo eficiente, que optimice la circulación del personal y el equipo de obra, coordinando las diferentes especialidades y llevando a cabo un aprovechamiento de las capacidades de la mano de obra.

Por ejemplo, en el diseño de las cuadrillas, es responsabilidad de un cierto grupo de ayudantes de obra, el traslado al centro de acopio de materiales al sitio donde se ejecute cierta actividad, dejando al oficial la tarea de liderar la misma o ir preparando para comenzar a ejecutar dicho proceso. Esto permite que el flujo en el almacenamiento sea de pocas personas y el paso por la obra de igual forma.

4.1.4 Modelo 3D del proyecto Casona El Panche

La integración de los planos en dos dimensiones se trabajó en un modelo 3D realizado en el software REVIT, el cual se muestran algunas imágenes y se posee un archivo digital con los detalles para abrir en el programa. Para visualizarlo, se requiere del archivo que se adjunta con este trabajo y en las figuras 5 y 6 se presenta unas imágenes tomadas del software REVIT.

Se tuvo en cuenta la programación de las actividades para crear un diagrama de flujo que permitiera crear una secuencia de tareas con tiempos, para lograr una colaboración e integración al modelo 3D, el cual se muestra a continuación:

Figura 4. Diagrama de flujo del proyecto

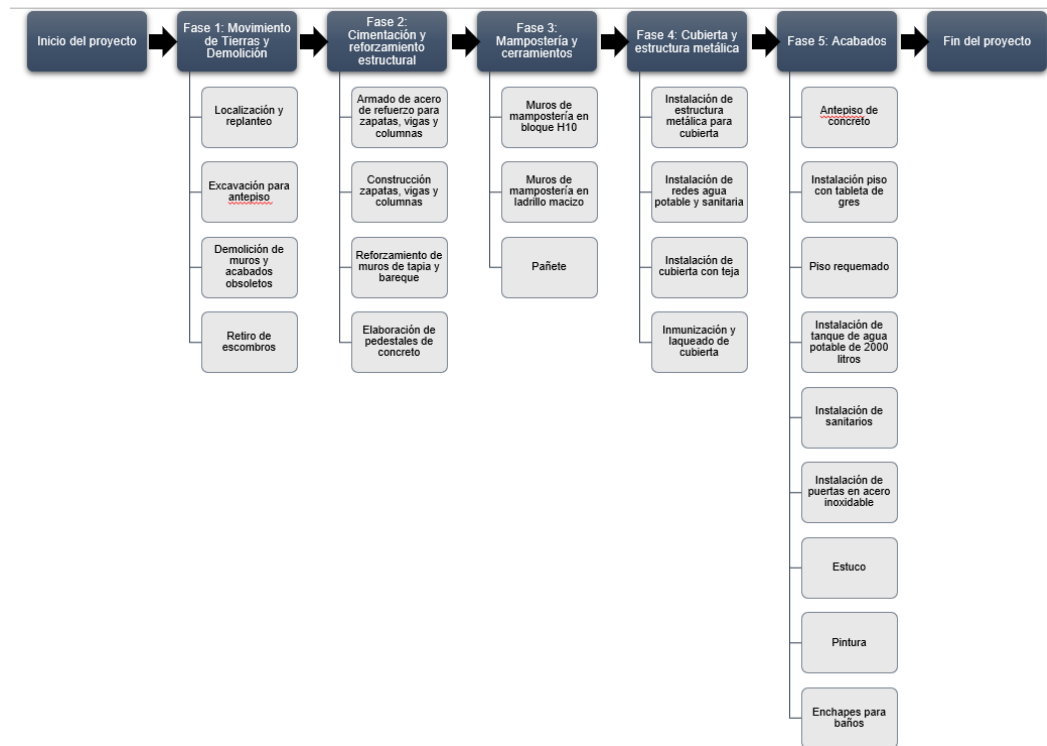


Figura 5

Visualización del modelo 3D, vista 1

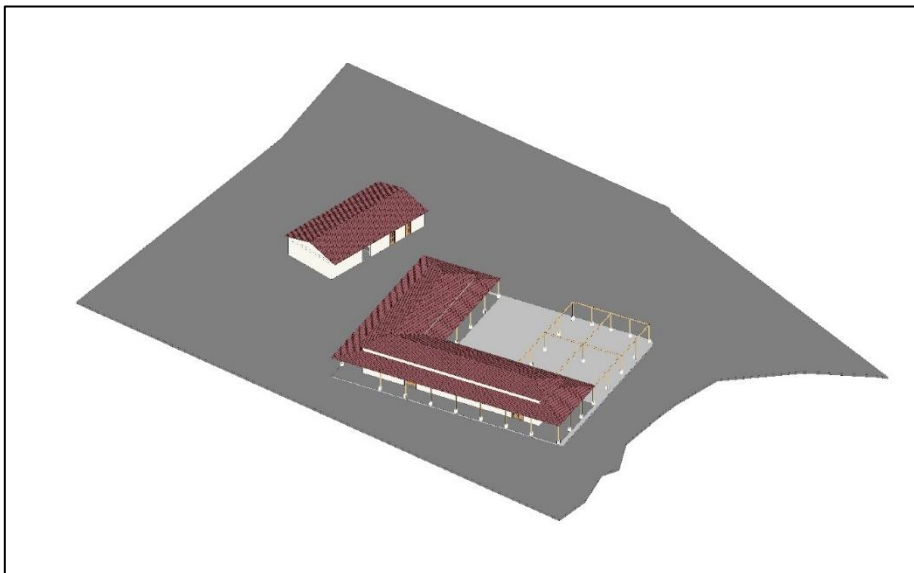


Figura 6.*Visualización del modelo 3D, vista 2*

4.2 Aplicación de herramientas Lean Construction en el proyecto de construcción

Casona El Panche, para identificar y eliminar desperdicios en la etapa de planificación y diseño

4.2.1 Mapeo de flujo de valor

El Mapeo de Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés - Value Stream Mapping) constituye una herramienta fundamental de la filosofía Lean Construction, la cual permite ilustrar, estudiar y razonar el flujo de materiales e información a lo largo de un proceso constructivo. El uso de dicha herramienta permite distinguir de un modo evidente las acciones que aportan valor al proyecto de las que no lo hacen, de forma que se puedan evaluar decisiones orientadas a la eficiencia del desarrollo operativo. En el proyecto de

remodelación y adecuación de la Casona El Panche, se utilizará el VSM desde las primeras etapas de planificación y diseño, de forma que se puedan anticipar futuras ineficiencias, mejorar la coordinación entre las fases y reducir los desperdicios tanto de recursos como de tiempo.

El objetivo del Mapeo de Flujo de Valor en este contexto será ajustar, por una parte, las acciones necesarias para cada una de las fases constructivas, conocer cuellos de botella, demoras, o tareas sin valor; y por otra parte, a partir de dichos datos orientar mejoras que hagan disminuir el tiempo del ciclo total del proyecto; incrementar la fiabilidad de la planificación y ayudar a hacer un uso más eficiente de los recursos. Esta herramienta se ejecutará conjuntamente con el modelo BIM del proyecto de forma que permita comprobar en tiempo real las interacciones entre fases y establecer un plan de acción eficiente, colaborativo y alineado con lo que se tiene esperado.

4.2.2 Clasificación de valor en las fases del proyecto

Para desarrollar los mapas de flujo de valor, primero se debe identificar y clasificar el valor que agregan las diferentes actividades que componen las fases del proyecto. Para ello se utiliza una connotación específica. Las actividades que tienen un valor agregado, que representan un verdadero avance del proyecto, se clasifican como VA, es decir, Valor Agregado. Las tareas que no agregan valor, las tenemos de dos tipos, aquellas que son necesarias y aquellas que se pueden eliminar, en ese caso serían NVAN y NVA.

respectivamente. Con esta clasificación, en el mapa de flujo de valor se puede observar que actividades son necesarias y que otras no lo son, o que pueden causar retrasos o desperdicios según lo que hemos analizado en el capítulo anterior. En la tabla 3 se resume esta clasificación.

Tabla 3.

Abreviaturas y clasificación de valor para las actividades

Clasificación de valor	Descripción
VA	Valor agregado
NVAN	No tiene valor agregado pero necesaria
NVA	No tiene valor agregado

Ahora, para cada fase del proyecto, se tabularán las actividades y los desperdicios, clasificando su valor para luego elaborar su respectiva grafica. Además, se definirán los tiempos que estas tareas incurren y se caracterizaran las oportunidades de mejora de las actividades que no agregan valor.

4.2.2.1 Clasificación de valor Fase 1. En primer lugar, para esta primera fase, en la tabla 4 se tiene su clasificación de valor y el tiempo estimado de duración, así como una descripción de las posibles oportunidades de mejora o desperdicios.

Tabla 4.*Clasificación de valores para las actividades de la fase 1*

N	Actividad	Clasificación	Tiempo estimado	Descripción
1.1	Localización y replanteo	VA	1 día	Se puede optimizar si hay errores de interpretación
1.2	Excavación para antepiso	VA	2 días	Se puede presentar desperdicios por sobreexcavación
1.3	Demolición de muros y acabados obsoletos	VA	2 días	Necesaria para actividades posteriores
1.4	Retiro de escombros	NVAN	1 día	No agrega valor directo pero necesaria para continuar con labores

Una vez clasificadas las actividades de la fase 1, se procede a clasificar los desperdicios según la evaluación de los mismos realizada previamente. En la tabla 5 se resume este análisis, mostrando los desperdicios para cada actividad principal, su tiempo de retraso y una breve descripción

Tabla 5*Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 1*

Actividad principal	Subactividad	Clasificación	Tiempo retraso	Descripción
1.1	Replanteo por error en planos o malas medidas	NVA	0.5 días	Retrabajo por mala interpretación
1.2	Espera por maquinaria	NVAN	0.5 días	Afecta el flujo, pero necesaria
1.2	Sobreexcavación	NVA	0.25 días	Aumenta volumen de relleno y concreto
1.3	Transporte ineficiente	NVA	0.5 días	Recorridos largos o sin planificación de acopio
1.4	Carga manual excesiva	NVA	0.5 días	Retraso en avance por fatiga del personal

Ahora se procede a relacionar las diferentes oportunidades de mejora que pertenecen a cada subactividad y que no representan valor en la fase del proyecto, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 1

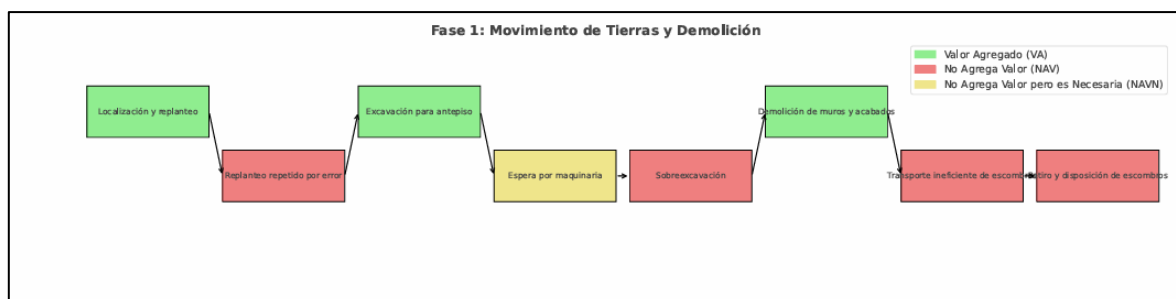
Subactividad	Desperdicio	Oportunidad de mejora
Replanteo por error en planos o malas medidas	Retrabajo (4.1.2.1)	Revisión digital con tecnologías BIM (4.1.3.1)
Espera por maquinaria	Esperas (4.1.2.1)	Programación Lean Construction (4.1.3.2)
Sobreexcavación	Material y retrabajo (4.1.2.1)	Control de niveles (4.1.3.3)
Transporte ineficiente	Movimiento y transporte (4.1.2.3)	Rediseñar rutas de acopio de materiales (4.1.3.4)
Carga manual excesiva	Movimiento innecesario (4.1.2.4)	Incorporación de herramientas como carretillas (4.1.3.3)

Durante la fase de movimiento de tierras y demolición, únicamente el 60% del tiempo total se destina a actividades que generan valor añadido directo. Se identificó una serie de desperdicios a consecuencia de retrabajos en la fase de replanteo, esperas por tipo de maquinaria y una logística ineficaz en la disposición de escombros que afectan a la eficiencia general del proceso. Pero si se utilizan herramientas como BIM para replantear las estructuras con exactitud, así como la programación diaria a través de Last Planner System, se puede mejorar considerablemente el flujo del trabajo y eliminar tiempos muertos y sobre costos generados por actividades prescindibles.

4.2.2.2 Mapa de flujo de valor para la fase 1

Figura 7.

Mapa de flujo de valor fase 1



4.2.2.3 Clasificación de valor Fase 2. Durante la segunda fase, en la tabla 7 se tiene su clasificación de valor y el tiempo estimado de duración, así como una descripción de las posibles oportunidades de mejora o desperdicios.

Tabla 7.

Clasificación de valores para las actividades de la fase 2

N	Actividad	Clasificación	Tiempo estimado	Descripción
2.1	Armado de acero de refuerzo para zapatas, vigas y columnas	VA	3 días	Puede presentar desperdicios por cortes innecesarios o deficientes
2.2	Construcción zapatas, vigas y columnas	VA	5 días	Coordinación crítica en fundición y formaleta
2.3	Reforzamiento de muros de tapia y bareque	VA	4 días	Uso de malla y mortero

2.4	Elaboración de pedestales de concreto	VA	2 días	Podría generar esperas si no hay buena planificación
------------	---------------------------------------	----	--------	--

Una vez clasificadas las actividades de la fase 2, se procede a clasificar los desperdicios según la evaluación de los mismos realizada previamente. En la tabla 8 se resume este análisis, mostrando los desperdicios para cada actividad principal, su tiempo de retraso y una breve descripción

Tabla 8.

Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 2

Actividad principal	Subactividad	Clasificación	Tiempo retraso	Descripción
2.1	Cortes inexactos de varillas	NVA	0.5 días	Desperdicio de acero
2.1	Espera por revisión de acero para fundir	NVAN	0.5 días	Afecta el flujo si no se coordina
2.2	Retrasos por falta de formaleta disponible	NVA	1 días	Se produce espera con posibilidad de cambio de programación
2.3	Transporte ineficiente de malla	NVA	0.25 días	Aumenta los tiempos y genera fatiga
2.4	Sobrecarga en mezcla de concreto	NVA	0.25 días	Tiempos muertos y desperdicios

Ahora se procede a relacionar las diferentes oportunidades de mejora que pertenecen a cada subactividad y que no representan valor en la fase del proyecto, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9.

Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 2

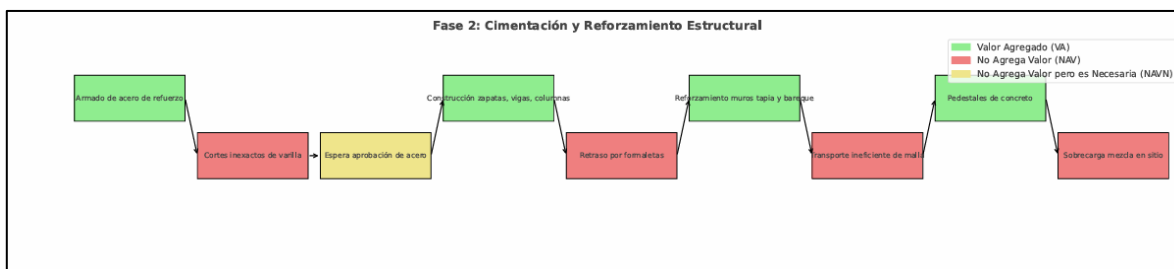
Subactividad	Desperdicio	Oportunidad de mejora
Cortes inexactos de varillas	Desperdicio de material (4.1.2.1)	Accesorios para doblar y uso de BIM para medidas (4.1.3.1)
Espera por revisión de acero para fundir	Esperas (4.1.2.1)	Programación Lean Construction (4.1.3.2)
Retrasos por falta de formaleta disponible	Esperas (4.1.2.1)	Control de inventario o rotación de formaletas (4.1.3.4)
Transporte ineficiente de malla	Movimiento y transporte (4.1.2.3)	Rediseñar rutas de acopio de materiales (4.1.3.4)
Sobrecarga en mezcla de concreto	Movimiento innecesario (4.1.2.4)	Incorporación de herramientas como carretillas (4.1.3.3)

Durante la etapa 2 ya hemos anotado que, aunque sean todas las actividades técnicamente de valor agregado (VA), afondando en la práctica de la ejecución operativa también afloran distintos tipos de desperdicios como tiempos muertos, exceso de materiales y transporte y coordinación ineficaz. La utilización de herramientas Lean como el Last Planner System y el modelaje en BIM sí permitirán ver un descenso de los tiempos improductivos y hacer que se incremente el flujo continuo del proceso constructivo y el porcentaje de actividades con un verdadero valor.

4.2.2.4 Mapa de flujo de valor para la fase 2

Figura 8.

Mapa de flujo de valor fase 2



4.2.2.5 Clasificación de valor Fase 3. Ahora continuando con la fase 3, en la tabla 10 se tiene su clasificación de valor y el tiempo estimado de duración, así como una descripción de las posibles oportunidades de mejora o desperdicios.

Tabla 10.

Clasificación de valores para las actividades de la fase 3

N	Actividad	Clasificación	Tiempo estimado	Descripción
3.1	Muros de mampostería en bloque H10	VA	3 días	Necesidad de alineación y plomo
3.2	Muros de mampostería en ladrillo macizo	VA	2 días	Demoras por cortes o detalles, ya que es ladrillo a la vista
3.3	Pañete	VA	2 días	Planificación para evitar desperdicio y retrabajo

Una vez clasificadas las actividades de la fase 2, se procede a clasificar los desperdicios según la evaluación de los mismos realizada previamente. En la tabla 11 se resume este análisis, mostrando los desperdicios para cada actividad principal, su tiempo de retraso y una breve descripción

Tabla 11

Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 3

Actividad principal	Subactividad	Clasificación	Tiempo retraso	Descripción
3.1	Cortes excesivos de bloque	NVA	0.5 días	Desperdicio y retrabajo
3.1	Repetición de replanteos de muros	NVA	0.25 días	Errores en ejes o medias
3.2	Transporte ineficiente	NVA	0.5 días	Recorridos largos y fatiga
3.3	Desperdicio por mala dosificación	NVA	0.25 días	Perdida de material
3.3	Aplicación sin alineación por codales	NVAN	0.25 días	Revisión y correcciones

Ahora se procede a relacionar las diferentes oportunidades de mejora que pertenecen a cada subactividad y que no representan valor en la fase del proyecto, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12

Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 3

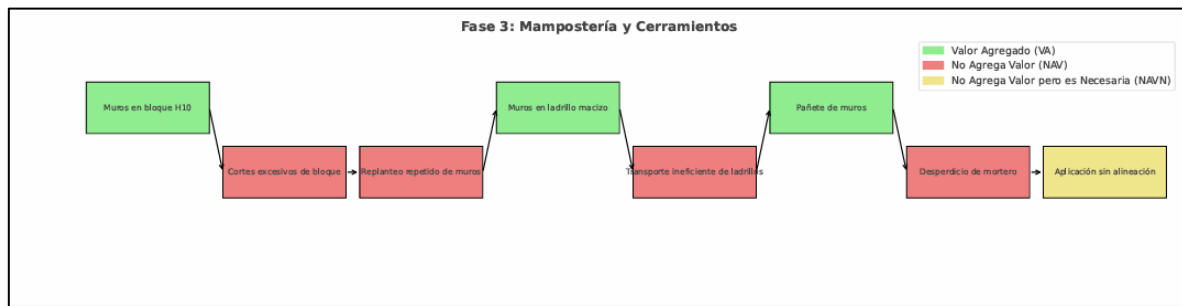
Subactividad	Desperdicio	Oportunidad de mejora
Cortes excesivos de bloque	Material y retrabajo (4.1.2.1)	Medidas de altura de muros (4.1.3.1)
Repetición de replanteos de muros	Retrabajo (4.1.2.1)	Revisión previa digitalizada (4.1.3.1)
Transporte ineficiente	Movimiento innecesario (4.1.2.3)	Rediseñar rutas de acopio de materiales (4.1.3.4)
Desperdicio por mala dosificación	Sobreproducción (4.1.2.5)	Revisión dosificación o capacitación (4.1.3.4)
Aplicación sin alineación por codales	Defectos (4.1.2.4)	Implementación de codales (4.1.3.3)

En la Fase 3 podemos observar una alta intensidad de actividades que aportan valor, pero, en este momento, también surgen ineficiencias operativas, asociadas fundamentalmente con errores de replanteo, transporte de materiales y mala ejecución de los acabados. Todo ello comporta un desperdicio de tiempo, de materiales y esfuerzo humano. La solución pasa por lograr una mejor planificación previa, usar el modelo BIM como herramienta de verificación de sus dimensiones y la aplicación de prácticas de logística Lean en el tratamiento de los materiales.

4.2.2.6 Mapa de flujo de valor para la fase 3

Figura 9.

Mapa de flujo de valor fase 3



4.2.2.7 Clasificación de valor Fase 4. En la fase 4, para evaluar las actividades correspondientes, se observa en la tabla 13 su clasificación de valor y el tiempo estimado de duración, así como una descripción de las posibles oportunidades de mejora o desperdicios.

Tabla 13.

Clasificación de valores para las actividades de la fase 4

N	Actividad	Clasificación	Tiempo estimado	Descripción
4.1	Instalación de estructura metálica para cubierta	VA	2 días	Actividad esencial, requiere precisión en montaje de estructura
4.2	Instalación de redes agua potable y sanitaria	VA	2 días	Se debe tener cuidado con las fugas
4.3	Instalación de cubierta con teja	VA	2 días	Revisar la alineación con la estructura base
4.4	Inmunización y laqueado de cubierta	VA	1 día	Si no se controla bien, puede presentar desperdicios

Una vez clasificadas las actividades de la fase 4, se procede a clasificar los desperdicios según la evaluación de los mismos realizada previamente. En la tabla 14 se resume este análisis, mostrando los desperdicios para cada actividad principal, su tiempo de retraso y una breve descripción.

Tabla 14.

Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 4

Actividad principal	Subactividad	Clasificación	Tiempo retraso	Descripción
---------------------	--------------	---------------	----------------	-------------

4.1	Mal manejo de componentes metálicos	NVA	0.25 días	Se pueden desperdiciar piezas por mal manejo o almacenamiento
4.1	Espera por maquinaria o herramienta para montaje	NVAN	0.5 días	Se detienen las actividades
4.2	Proceso deficiente en las redes	NVA	0.5 días	Retrabajos en tuberías y desperdicio de materiales
4.3	Corte de tejas en obra	NVA	0.25 días	Perdida de material por no trabajar con medidas previas
4.4	Aplicación irregular de la laca	NVA	0.25 días	Necesidad de reaplicar, goteos o sobreuso del producto

Ahora se procede a relacionar las diferentes oportunidades de mejora que pertenecen a cada subactividad y que no representan valor en la fase del proyecto, así como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 15.

Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 4

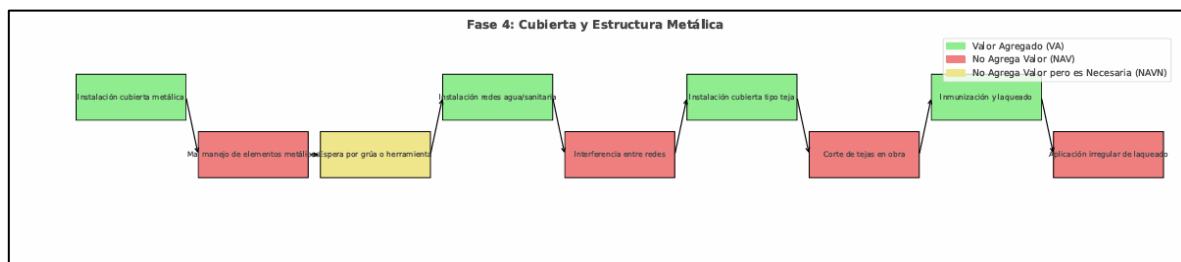
Subactividad	Desperdicio	Oportunidad de mejora
Mal manejo de componentes metálicos	Defectos y retrabajos (4.1.2.2)	Zonas seguras de almacenamiento e izaje de materiales (4.1.3.4)
Espera por maquinaria o herramienta para montaje	Esperas por maquinaria o herramientas (4.1.2.1)	Estrategias Lean Construction (4.1.3.2)
Proceso deficiente en las redes	Defectos y retrabajos (4.1.2.2)	Planificación en BIM para ubicación de redes (4.1.3.1)
Corte de tejas en obra	Defectos y retrabajos (4.1.2.2)	Planificación BIM para medidas exactas (4.1.3.1)
Aplicación irregular de la laca	Defectos (4.1.2.4)	Estrategias Lean Construction (4.1.3.2)

A pesar de que las actividades principales de la Fase 4 son de actividades con valor, cabe recoger que se encuentran desperdicios técnicos y logísticos que, de no controlarse, pueden afectar la calidad, durabilidad y velocidad de progreso del producto. La interferencia entre redes es uno de los puntos críticos que puede ser solucionado rápidamente a partir de coordinaciones tempranas en el BIM. Controlar el uso de herramientas, el desglose de recursos y la aplicación de productos, utilizando principios Lean, es básico para evitar tiempos muertos y reprocesos caros.

4.2.2.8 Mapa de flujo de valor para la fase 4

Figura 10.

Mapa de flujo de valor fase 4



4.2.2.9 Clasificación de valor Fase 5. En esta última fase, se encuentran más actividades que las anteriores y representan el acabado final del proyecto, para evaluar las actividades correspondientes, se observa en la tabla 15 su clasificación de valor y el tiempo estimado de duración, así como una descripción de las posibles oportunidades de mejora o desperdicios.

Tabla 16.

Clasificación de valores para las actividades de la fase 5

N	Actividad	Clasificación	Tiempo estimado	Descripción
5.1	Antepiso de concreto	VA	2 días	Actividad esencial, requiere precisión en niveles
5.2	Instalación piso con tableta de gres	VA	2 días	Acabado estético, no debe tener imperfecciones
5.3	Piso requemado	VA	1.5 días	Acabado estético, no debe tener imperfecciones
5.4	Instalación de tanque de agua potable de 2000 litros	VA	1 día	No debe presentar fugas y debe ser funcional el sistema de llenado
5.5	Instalación de sanitarios	VA	1 día	No debe tener desperfectos y estar funcional
5.6	Instalación de puertas en acero inoxidable	VA	1 día	Cierre seguro y resistente
5.7	Estuco	VA	2 días	Se debe prepara la superficie para no mostrar imperfectos
5.8	Pintura	VA	1.5 días	Debe proteger la superficie y no presentar manchones
5.9	Enchapes para baños	VA	2 días	Acabado estético, no debe tener imperfecciones

Una vez clasificadas las actividades de la fase 5, se procede a clasificar los desperdicios según la evaluación de los mismos realizada previamente. En la tabla 16 se

resume este análisis, mostrando los desperdicios para cada actividad principal, su tiempo de retraso y una breve descripción.

Tabla 17.

Clasificación de valores para las actividades de desperdicio de la fase 5

Actividad principal	Subactividad	Clasificación	Tiempo retraso	Descripción
5.1	Nivelación deficiente	NVA	0.5 días	Esto hace que se deban corregir imperfecciones en el enchape
5.2	Malos cortes de tableta	NVA	0.5 días	Perdida de material
5.3	Sobreuso de mezcla para piso requemado	NVA	0.25 días	Desperdicio de material por mala dosificación
5.5	Instalación de aparatos sanitarios sin probar	NVA	0.5 días	Presentación de fugas y retrabajos
5.7	Mala adherencia del estuco	NVA	0.25 días	Desprendimientos o necesidad de reaplicar
5.8	Pintura en capas desiguales	NVA	0.25 días	Retrabajo y perdida de material teniendo que repasar
5.9	Enchape sin alineación	NVAN	0.25 días	No aplica valor, pero debe corregirse para mejorar lo visual

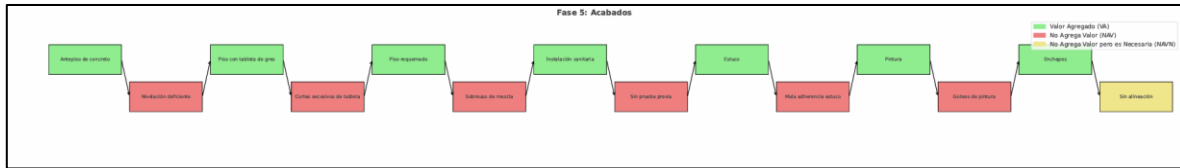
Ahora se procede a relacionar las diferentes oportunidades de mejora que pertenecen a cada subactividad y que no representan valor en la fase del proyecto, así como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 18.*Oportunidades de mejora para las actividades de desperdicio de la fase 5*

Subactividad	Desperdicio	Oportunidad de mejora
Nivelación deficiente	Defectos y retrabajos (4.1.2.2)	Uso de herramientas de nivelación (4.1.3.2)
Malos cortes de tableta	Desperdicio de material (4.1.2.1)	Optimización de materiales (4.1.3.3)
Sobreuso de mezcla para piso requemado	Materiales (4.1.2.1)	Estrategias Lean Construction para una adecuada dosificación (4.1.3.2)
Instalación de aparatos sanitarios sin probar	Defectos y retrabajos (4.1.2.2)	Optimización de materiales realizando prueba hidráulica (4.1.3.3)
Mala adherencia del estuco	Defectos (4.1.2.4)	Mantener superficie limpia (4.1.3.2)
Pintura en capas desiguales	Retrabajo (4.1.2.2)	Uso de rodillos (4.1.3.2)
Enchape sin alineación	Retrabajo (4.1.2.2)	Revisión de nivelación y guías de referencia como separadores (4.1.3.2)

A pesar de que es una fase que incluye actividades de valor adicional (acabados finales del proyecto), esta es una de las que sufre mayores tasas de retrabajos debidos a alineaciones incorrectas, a frecuencias inadecuadas, o bien a la rapidez de los métodos de ejecución. En una evaluación, se demostró que podría perderse un 25%, aproximadamente, y con respecto a los detalles que es preciso ejecutar de nuevo. Una buena gestión de los acabados finales con inspecciones visuales anticipadas, la modulación a partir de BIM, y el trabajo colaborativo, evitaría tener que llevar a cabo estos trabajos repetitivos.

4.2.2.10 Mapa de flujo de valor para la fase 5

Figura 11.*Mapa de flujo de valor fase 5*

4.2.2 Last Planner System

El Last Planner System (LPS) es una herramienta de planificación colaborativa que se ha desarrollado conforme a la filosofía del Lean Construction persiguiendo el objetivo de mejorar el cumplimiento de las actividades programadas, disminuir la incertidumbre y aumentar la confiabilidad en obra. De manera opuesta a los métodos de programación lineal del Project Management. El LPS se enfoca en el trabajo que realmente puede hacerse y que se compromete a conseguir en espacios de tiempo cortos de acuerdo con la situación del proyecto.

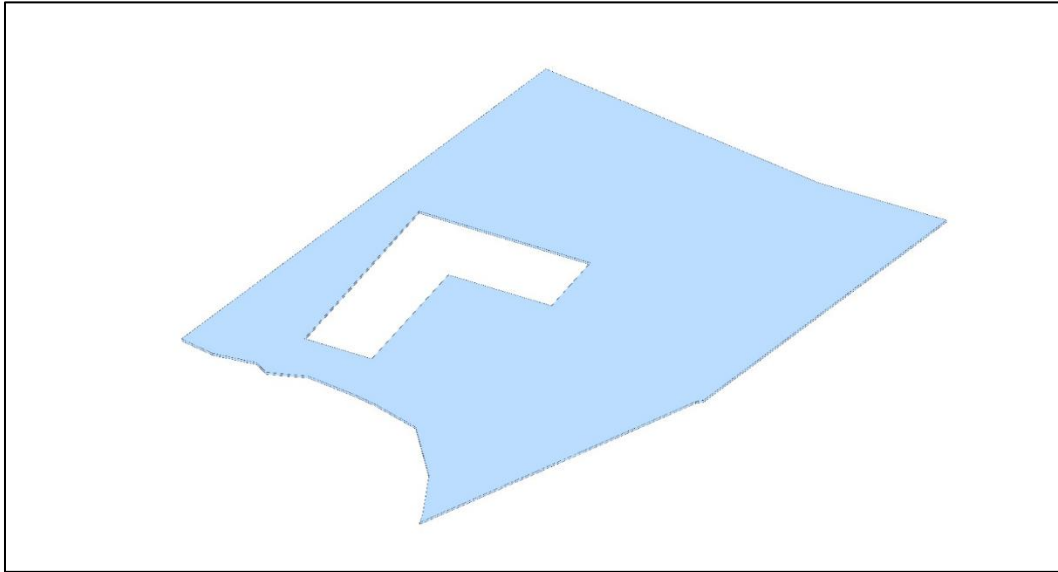
En ese caso, este método nos permite aplicar un monitoreo de las fases del proyecto de manera digital de forma semanal y también, poder llevar a cabo un Plan Percent Complete, como se detalla a continuación.

4.2.2.1 Planificación por fases BIM. Desde el modelo BIM se genera un programa visual con herramientas tales como Revit con plug-in para la planificación en el que cada una de las fases del proyecto (demoliciones, cimentación, mampostería, etc.) está asociada a un rango de fechas. A través de nombres de días del programa se permite a partir de la visualización anticipar las interferencias y validar los tiempos de ejecución. El LPS se sincroniza en este caso como la estructura base a través de la conexión de las fechas de hito y duración de las actividades para obtener la conexión al programa maestro generado en el modelo.

En las siguientes imágenes, se puede observar que el modelo digital permite separar los diferentes elementos constructivos en fases, y así se puede organizar las etapas de construcción definidas en el cronograma. En primer lugar, se tiene la fase de movimiento de tierras y demoliciones, las cuales parten desde el inicio del proyecto y se puede visualizar como se muestra en la figura 11.

Figura 12.

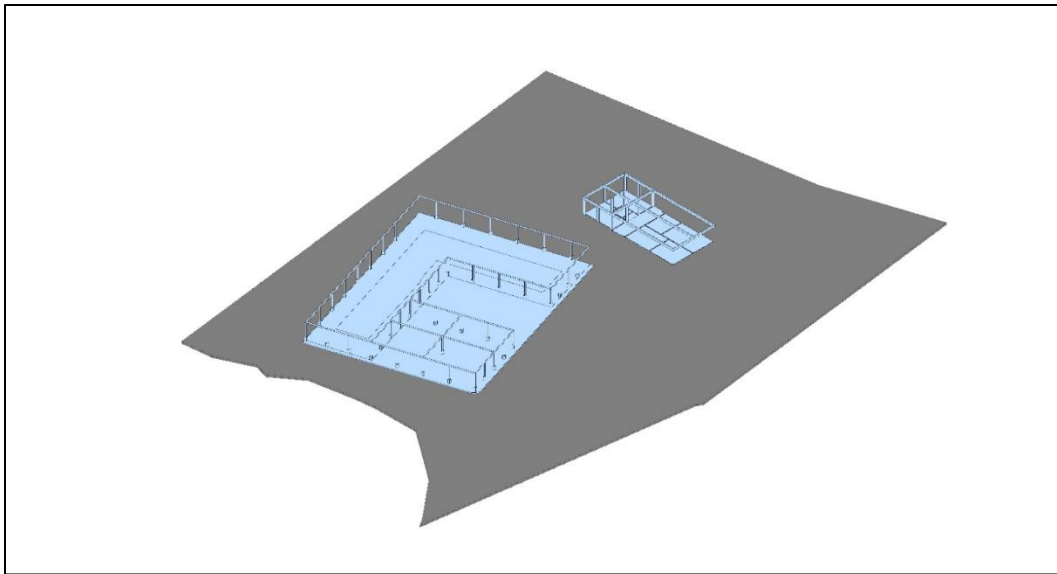
Fase 1 en modelo 3D REVIT



Posteriormente, se puede visualizar la siguiente fase que es la de cimentación y reforzamiento estructural, donde se identifican los elementos del proyecto que se van a ejecutar y que se puede hacer seguimiento a través de esta herramienta

Figura 13.

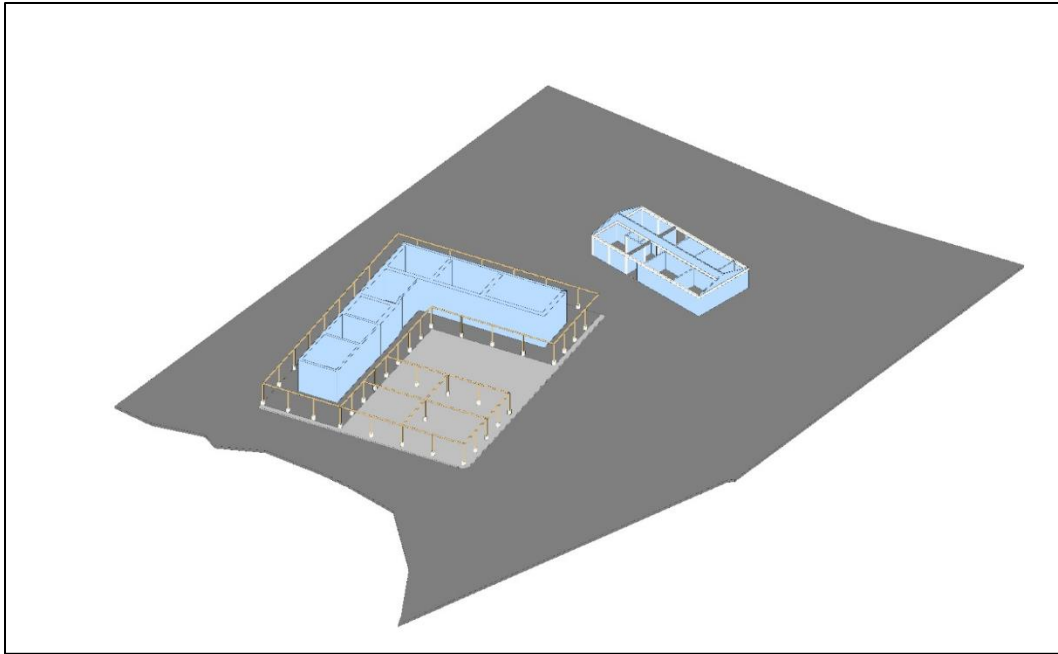
Fase 2 en modelo 3D REVIT



En la figura 13, se observa que se tiene proyectado los cerramientos del proyecto, permitiendo ir actualizando el modelo para ir llevando el cronograma.

Figura 14.

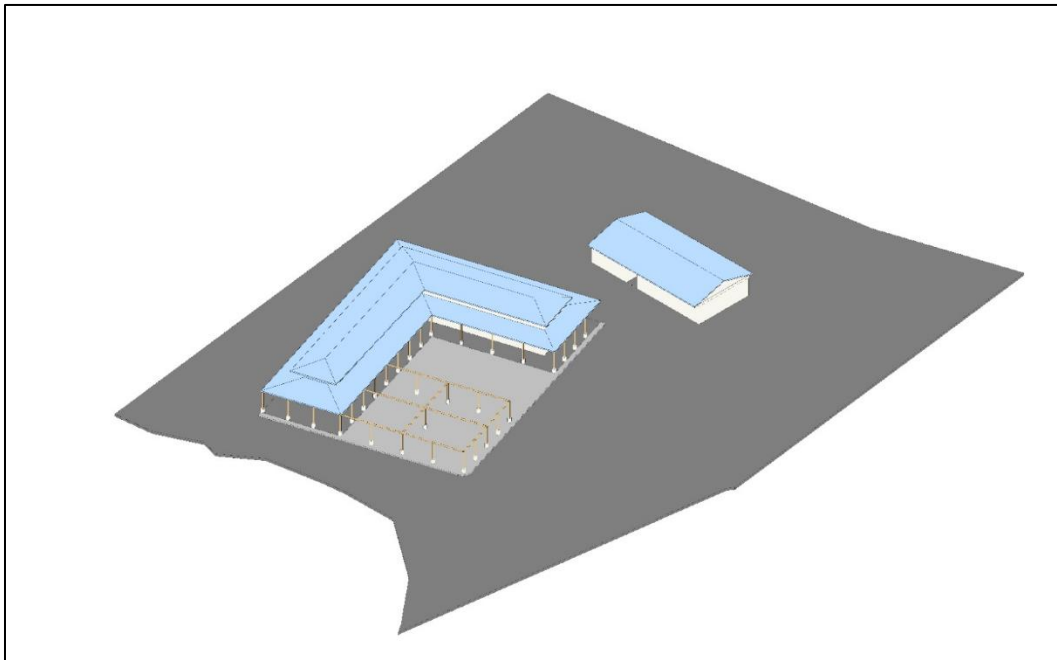
Fase 3 en modelo 3D REVIT



Como se puede observar en la figura 14, se tiene la construcción de la cubierta y se puede ver como el modelo se va actualizando a los procesos que ya se han ejecutado, permitiendo hacer un seguimiento digital desde la metodología BIM.

Figura 15.

Fase 4 en modelo 3D REVIT



Para finalizar, se tiene la fase de acabados, donde se refleja el producto final del proyecto la Casona el Panche, tal como se ve en la figura 15.

Figura 16.

Fase 5 en modelo 3D REVIT



4.2.2.2 Planificación semanal REVIT. Es posible crear vistas filtradas en Revit para poder visualizar únicamente las tareas que se planifican para la semana, como elementos estructurales a vaciar o mampostería a ejecutar o áreas a remediar. Se mejora así la forma de comunicar con el personal de obra porque se puede mostrar representaciones de lo que queda por ejecutar.

Así como se mencionó anteriormente, se pueden planificar las tareas de la semana filtrando el cronograma con una vista del modelo de las tareas a ejecutar, así como se ilustra en las figuras anteriores.

4.2.2.3 Seguimiento del PPC (Plan Percent Complete). Parte del LPS es el seguimiento en porcentaje de las tareas ejecutadas y medir indicadores, como se mostrará en los numerales siguientes, que permitan controlar y tomar decisiones sobre el avance del proyecto. Es por ello que, mientras se desarrollan los trabajos, la obra es objeto de una actualización del modelo para reflejar el estado actual del proyecto en ejecución. Se vincula con indicadores de ejecución dentro de la obra, como el PPC (Plan Percent Complete), se usan reportes visuales dinámicos utilizando el modelo en REVIT, que hacen que el modelo pase a ser un instrumento de control de obra, digitalizando las tareas en tiempo real con datos que pueden darse de inmediato. Esto conlleva a que de la forma tradicional, nos ahorre tiempo en la ejecución de las tareas y al ejercer la supervisión del proyecto, siendo de forma precisa y ágil.

4.3 Generación de indicadores que demuestren el valor de la integración Lean Construction-BIM para producir documentación técnica que sirva como guía de implementación en proyectos futuros

Para validar la ejecutabilidad y la eficacia de la metodología BIM-LC, se realiza una comparación con el método de ejecución de obras tradicional. Esta comparación se centra en las cuestiones más relevantes: planificación, gestión de los tiempos, reducción de los desperdicios y eficiencia operativa en el campo.

4.3.1 Criterios de comparación del método tradicional con la metodología BIM y filosofía

Lean Construction

Teniendo en cuenta lo anterior, se identifican criterios de comparación que permitan dar en primer lugar el enfoque en el que se basa cada método y como se pretende que se desarrolle según los aspectos evaluados. En tabla 19, se realiza observa lo descrito anteriormente, posteriormente se realiza un análisis sobre ello.

Tabla 19.

Criterios de comparación entre enfoque tradición y BIM+LC

Criterio de comparación	Enfoque tradicional	Enfoque BIM+LC
Planificación	Lineal y no es colaborativa	Colaborativa al incluir planificación semanal
Visualización del proyecto	Planos 2D y listas de actividades	Modelo 3D, interactivo y visual
Identificación de desperfectos	En obra	Mediante modelos 3D
Control de desperdicios	No sistematizado	Uso de Mapas de flujo de valor para reducir actividades sin valor
Gestión de recursos	En obra	Just in time, con condiciones de arranque
Medición de desempeño	Ninguna	Semanalmente con estructura PPC
Decisiones entre profesionales	Decisiones aisladas	Integrada con participación directa
Trazabilidad y control	Documento parcial con seguimiento manual	Centrada e información con modelo LPS

El uso del modelo BIM hizo posible evidenciar interferencias en las etapas iniciales y prever los retrabajos en obra (cruce de redes sanitarias con estructuras metálicas,

conflictos entre elementos arquitectónicos y redes de instalaciones mecánicas), gracias a la visualización en obra, la cual se obtuvo a partir del modelo 3D y su planificación 4D, lo que permite poder decidir, antes de haber comenzado su ejecución física, mejorando así la coordinación entre disciplinas y reduciendo así las probabilidades de errores en el campo.

Paralelamente, mediante el uso del Value Stream Mapping (VSM) se evidencian 27 situaciones de desperdicio en las cinco etapas del proyecto (actividades sin valor añadido, esperas por recursos, transportes innecesarios y retrabajos), lo que ha permitido con una potencial reducción superior al 22% en los tiempos improductivos, especialmente en fases críticas como cimentación y acabados, proponer y aplicar medidas correctivas.

En la siguiente tabla se evidencia lo descrito anteriormente, con el tiempo de ejecución de las actividades de forma tradicional, donde se aplican los desperdicios encontrados, comparándolo con el tiempo en el que se aplicó BIM y LC, pudiendo realizar las diferentes oportunidades de mejora para la optimización del cronograma de trabajo.

Tabla 20.

Comparación del tiempo ejecutado aplicando el método tradicional y BIM+LC

Fase	Tiempo estimado de forma tradicional	Tiempo optimizado BIM + Lean Construction	Porcentaje de reducción estimado
Movimiento de tierras y demolición	9 días	6 días	33.33%

Cimentación y reforzamiento estructural	17 días	14 días	17.65%
Mampostería y cerramientos	9 días	7 días	22.22%
Cubierta y estructura metálica	9 días	7 días	22.22%
Pisos y acabados	17 días	14 días	17.65%
Total	61 días	48 días	22.65%

En contraposición, bajo una gestión tradicional, pues muchas de este tipo de situaciones no habrían sido advertidas hasta que hicieran acto de presencia en la obra, repercutiendo negativamente en el cronograma, incrementando los costos indirectos y disminuyendo la calidad final del producto. A todo ello, una falta de planificaciones colaborativas y un control del cumplimiento sin estructura perjudicaban el avance real de la obra, generando un entorno de trabajo más reactivo y menos adaptada.

4.3.2 Indicadores de eficiencia

Luego, para valorar la aplicabilidad de la metodología integrada BIM + Lean en el proyecto Casona El Panche, resulta imprescindible establecer, por medio de indicadores de eficiencia, la capacidad de medir el desempeño operativo y el resultado obtenido en obra. Estos indicadores permiten cuantificar mejoras, identificar puntos críticos y valorar la posibilidad de implementar este modelo en futuros proyectos de adecuación y restauración arquitectónica.

Teniendo en cuenta lo relacionado anteriormente con los desperdicios y oportunidades de mejoras para el proyecto la Casona El Panche, se identificaron ciertos aspectos críticos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar el rendimiento del proyecto. Esos indicadores se pueden ir evaluando para medir el avance del cronograma y así, poder comparar con lo establecido, permitiendo también tomar decisiones desde la planificación. Para ello, se proponen los siguientes indicadores que medirán el cumplimiento de las diferentes fases del proyecto.

4.3.2.1 Tareas cumplidas semanalmente. A través de un plan PPC (Plan Percent Complete) se puede medir el cumplimiento de las tareas que se programen para la semana. Para evaluar dicho indicador se debe medir en porcentaje que resulta de la división entre las tareas cumplidas y las programadas, para luego multiplicar por cien. Esta evaluación como se ha mencionado, se realiza semanalmente. Como verificación y chequeo del indicador, un porcentaje por encima de 80 es lo ideal. En la ecuación 1 se muestra el método para evaluarlo.

$$\frac{Tareas\ cumplidas}{Tareas\ programadas} \times 100 \quad (1)$$

4.3.2.2 Índice de actividades NVA. En el numeral anterior, se identificaron actividades que no tiene valor agregado y que generan retrasos al proyecto. Es por ello que, durante la ejecución de cada fase, es importante medir cuantas actividades sin valor se han reducido, estableciendo un índice con una formula básica, la cual consiste en establecer las actividades iniciales y restarle las que se han generado, luego se divide entre el total y se tiene un valor en porcentaje, como lo indica la siguiente ecuación.

$$\frac{NVA\text{ iniciales} - NVA\text{ reducidos}}{NVA\text{ iniciales}} \times 100 \quad (2)$$

Por ejemplo, si se tienen 5 actividades en la fase 1 identificadas sin valor agregado, y al final se logran mitigar las 5, nos da como resultado un índice de NVA de 0%, siendo este el valor ideal para el proyecto. Ahora bien, la frecuencia en que se debe evaluar este indicador, debe ser al finalizar cada fase, ya que las actividades sin valor se conocen por fase del proyecto.

4.3.2.3 Índice de cumplimiento del cronograma. Este es otro indicador que se puede proponer para evaluar en porcentaje lo ejecutado según el tiempo que se tenía previsto. Para ello, se realiza una evaluación por fases o por actividades, de manera que permita generar un reporte mensual o semanal de la gestión del cronograma. Para ello medimos simplemente el tiempo ejecutado sobre el total. En la siguiente ecuación, se mide por fase de la siguiente forma; el tiempo de la fase sobre el total del proyecto. De esta forma obtenemos el total de avance del proyecto.

$$\frac{\text{Tiempo ejecutado por fase o actividad}}{\text{Tiempo total del proyecto}} \times 100 \quad (3)$$

Este valor se puede comparar en una tabla donde se muestre el tiempo ideal, el porcentaje que debía tener al tiempo ejecutado, mostrando un porcentaje de avance con una descripción sobre si esta por debajo o esta correcto, llevando de forma organizada un registro para cada actividad o fase en la gestión del cronograma.

4.3.2.4 Índice de retrabajos. Cuantificar el tiempo de los retrabajos, es un indicador que mide hasta que punto el tiempo de ejecución de una tarea, sobrepasa cierto porcentaje con respecto a lo estimado, pudiendo establecer un límite de horas por retrabajos para tomar medidas o decisiones que permitan mejorar esta falencia. Este indicador se puede medir por actividad, tomando las horas por retrabajo por las horas totales y sacar un porcentaje. Este deberá ser lo mas bajo posible.

$$\frac{\text{Horas por retrabajos}}{\text{Horas totales}} \times 100 \quad (4)$$

4.3.2.5 Eficiencia de los recursos. Este indicador resulta importante para medir la cantidad de material que se ha utilizado, el excedente en caso de necesitar más, pudiendo evaluar los sobrecostos de forma mas detallada. Resulta también importante para determinar si el uso de equipos o materiales fue optimo y según lo planeado. Para ello, se evalúa semanalmente o mensualmente un avance y al final, por cada entrega, se evalúa de forma total según se requiera, tomando la cantidad ejecutada y la cantidad disponible, así como se ve en la siguiente ecuación.

$$\frac{\text{Cantidad usada}}{\text{Cantidad planificada}} \times 100 \quad (5)$$

La creación y utilización de indicadores de eficiencia permite contar de forma objetiva los efectos que produce la aplicación de la metodología BIM + Lean, cuyos resultados reflejan una importante mejora con relación al modelo tradicional, lo que reafirma la aplicabilidad de este tipo de procedimiento y da pie a hacerlo replicable en futuras obras de intervención arquitectónica, rehabilitación, adecuación funcional, etc.

5. Conclusiones

Mediante el uso de las metodologías de modelado 3D y 4D, de herramientas como el Mapeo de Flujo de Valor (VSM) o del Last Planner System (LPS), se lograron detectar actividades sin valor que se tradujeron en secuencias de trabajos más eficientes, que son factibles de simular en dicho contexto, demostrando así que una planificación avanzada a partir de estas metodologías no elimina el desperdicio de valor, sino que también aumenta la fiabilidad de la programación antes del inicio de la ejecución física de los trabajos.

La metodología adecuada permitió visualizar interferencias, alcanzar metas comunes entre los actores del proyecto y crear condiciones para una gestión más efectiva y transparente, permitiendo así alcanzar una planificación más realista y participativa comparándola con el modelo tradicional, potencialmente reduciendo costos por retrabajo y mejorando tiempos de ejecución de los trabajos.

Indicadores tales como el PPC, el índice de reducción de actividades NVA o bien la desviación del programa permiten cuantificar los beneficios del modelo BIM + Lean también en la planificación, lo que lo hace aplicable a otros proyectos de adecuación o restauración donde existe mayor complejidad operativa y recursos limitados que requieren estrategias de gestión más inteligentes y coordinadas.

Referencias

Acosta, D. (2009). Dialnet.unirioja.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3647837>

Aguilar, W. M. (2020). Implementación de una gestión de costos utilizando el sistema integrado Green–Lean para la construcción de piscigranja comunal en San José de Baños – Huaral 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].

Repositorio UPN.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25514/Apolinario%20Aguilar%2c%20Willy%20Moises.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alarcón, H. S. (2022, junio 24). Gestión de proyectos de construcción. Repositorio

Uniminuto.

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14765/1/T.IC_HelenC%C3%A1rdenasAlarcon_2022.pdf

Anzules, Í. D., & Castro, D. W. (2022). Contaminación ambiental. Recimundo, 93–103.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8374646>

Babalola, O., Ibem, E., Ezema, I. C., & Olanipeku, A. O. (2019). Building information modelling in construction. IOP Conference Series: Materials Science and

Engineering, 1299(1), 012002. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1299/1/012002/pdf>

Bashar Abdal Noor, S. Y. (2018). Improving construction performance. Emerald Insight.

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/CI-05-2017-0040/full/html>

- Becerik, G. B., & Rice, S. (2010, febrero). The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry. ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/238307896>
- Botero, L. F., & Villa, M. E. (2004, julio 23). Guía de mejoramiento continuo. Revista Universidad EAFIT, 15. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/864/770/2594>
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). Association for Project Management (APM).
<https://www.apm.org.uk/media/7571/building-information-modelling.pdf>
- Chávez, L. (s. f.). ¿Sabes qué es la construcción y conoces todas sus etapas? Cementos Torices. <https://cementostorices.com/blog/construccion/sabes-que-es-la-construccion-y-conoces-todas-sus-etapas/>
- Colombia potencia de la vida. (2021). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-internacionales/convenio-sobre-cambio-climatico>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018, marzo 23). Conpes 3919.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>
- Construcciones P. H. (2021). El mantenimiento en los proyectos de construcción. P&H Construyendo Soluciones. <https://pyhca.com/el-mantenimiento-en-los-proyectos-de-construccion>
- García, A. M., & Vargas, J. A. (2021). Gestión de proyectos de construcción. Repositorio Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/02ceee57-24a6-4367-92b9-5c1f94216bc8/content>

GCF Global. (s. f.). Tipos de muestreo. GCF Global.

<https://edu.gcfglobal.org/es/estadistica-basica/tipos-de-muestreo/1/>

Gorog, M. (2013). A strategic-oriented implementation of projects. Springer.

https://www.google.com.co/books/edition/Strategic_Oriented_Implementation_of_Pro/OfKuDgAAQBAJ

Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., & Seggewies, J.-K. (2019). Manual of recycling. Detail Magazine. https://issuu.com/detail-magazine/docs/978-3-95553-492-9_bk_manual_of_recycling_en_2019

Huamán, M. F. (2014). Implementación del sistema integrado BIM–LEAN–GREEN (BGL) en la fase de diseño de proyectos de construcción [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/654/T%20690%20F995%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huovila, P., & Koskela, L. (1998). The origins of lean construction. IGLC.

<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-2c0281d1-46a3-471c-9835-2db0de2d8906.pdf>

Luo, L. C. (2014, mayo 14). A BIM-based construction quality management model and its applications. Elsevier. https://e-tarjome.com/storage/btn_uploaded/2020-06-23/1592907469_10766-etarjome%20English.pdf

- Mariz, R. N., & Picchi, F. A. (2021, mayo 5). BIM and lean integration in Brazil. SciELO.
<https://www.scielo.br/j/ac/a/n9dwqZqXSZTYCjVzs5JXTWB/?lang=en>
- Medallo, F., & C. W., E. (2020). Lean construction and sustainability. Semantic Scholar.
https://e-space.mmu.ac.uk/626090/1/SCS_2019_3203_R1%20copy.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Proyecto de resolución 2 de 2015.
 Minvivienda. https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/proyecto-de-resolucion_2.pdf
- Mollasalehi, A., Fleming, A., Talebi, S., & Underwood, J. (2016). Development of an experimental waste framework based on BIM/Lean concept in construction design. IGLC. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-e7c3fdde-57a0-41b0-aebf-90a05441f698.pdf>
- Moreno, M. C. (2020, mayo 4). Ciclo de vida de un proyecto BIM. LinkedIn.
<https://es.linkedin.com/pulse/ciclo-de-vida-un-proyecto-bim-manuel-caballero-moreno>
- Mosse, H. N., Njuguna, M., & Kabubo, C. (2020, julio 24). Influence of Building Information Modelling (BIM) on engineering contract management in Nairobi, Kenya. World Journal of Engineering and Technology, 18.
https://www.scirp.org/pdf/wjet_2020072316305610.pdf
- Moud, H. I. (2013). Integrating BIM and Lean in the design phase [Tesis de maestría, Chalmers University of Technology]. Repositorio Chalmers.
<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/183575/183575.pdf>

- Muñoz, V. D., & Díaz, L. P. (2022). Interacción BIM–Lean en proyectos de construcción [Monografía, Universidad de Cartagena]. Repositorio Unicartagena.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/15529/Monograf%C3%ada%20BIM-Learn>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015, septiembre 25). Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Naciones Unidas.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030>
- Pedro Saieg Faria, E. D. (2018). Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the AEC industry: A systematic review. ResearchGate.
- Peng Zhou, N. E. (2018). BIM and lean in sustainable construction. Core.
<https://core.ac.uk/download/186334985.pdf>
- Phuong Hoang, R. A. (2019). Synergistic effect of integrated project delivery, lean construction, and BIM on project performance measures. Journal of Construction Engineering and Management.
- Pizarro, A. S., & Arrieta, J. R. (2022). Building Information Modeling (BIM) y su desarrollo en la industria de la construcción. Revista de Construcción.
- Pommer, E. E., & Horman, M. (2009). Key processes in the building delivery of green hospitals. Journal of Green Building.
- Rahman, M. A., & Belayutham, S. (2022). BIM-based construction management. World Construction Symposium.
https://ciobwcs.com/downloads/papers22/WCS2022_Proceedings_16.pdf

Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. Editorial Universidad Nacional.

Real Academia Española. (s. f.-a). Sinergia. <https://dle.rae.es/sinergia>

Real Academia Española. (s. f.-b). Interacción. <https://dle.rae.es/interacción>

Resolución 549, Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2015).

<https://57uno.com/project/resolucion-549-de-2015>

Sánchez, J. M., Tienda, J. L., & Cortés, J. P. (2019). BIM–Lean integration for construction projects. IGLC. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-2732dbb6-0195-44ff-a3c4-7bb050c8ba5d.pdf>

Suárez, H. (2023, noviembre 9). Tipos de investigación. Experto Universitario.

<https://expertouniversitario.es/blog/tipos-de-investigacion/>

Zambrano Borda, M. A. (2022, noviembre). Interacción Lean–BIM para la gestión de proyectos de construcción [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Unimilitar.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/44377/BordaZambranoMiguelAngel2022.pdf>

Zambrano, M. A. (2022). Interacción Lean–BIM para el diseño de metodología de gestión de proyectos de construcción en etapa de planificación y ejecución. Universidad Militar Nueva Granada.