



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Título del trabajo de titulación:**

Análisis comparativo de la eficiencia constructiva de una vivienda unifamiliar de tres niveles mediante sistemas tradicionales y prefabricados

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

Ingeniero Civil

**Autor:**

John Fernando Peralta Zuñiga

**Director:**

Ing. Vladimir Carrasco

**Cuenca-Ecuador**

**2026**

## **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a mis padres, por su amor, esfuerzo y sacrificio incondicional, por brindarme todo lo necesario y por hacer que nunca me falte nada en el camino para poder cumplir una más de mis metas.

De igual manera, dedico este logro a mi novia, Nicole, por acompañarme durante esta etapa muy especial, por su apoyo, amor y motivación en los momentos difíciles, convirtiéndose en uno de los pilares fundamentales de mi vida.

Finalmente, a mis hermanos, por ser más que familia, mis mejores amigos y compañeros de vida. Espero que esta nueva etapa profesional nos permita poder ejercer juntos.

## **Agradecimientos**

Expreso mi más sincero agradecimiento, en primer lugar, a mi familia y a mi pareja, por su apoyo incondicional y por cada esfuerzo realizado para que hoy pueda cumplir una de las metas más importantes de mi vida.

A mi tutor de tesis, por su orientación, conocimientos y valioso acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de investigación, contribuyendo significativamente en el mismo.

Finalmente, agradezco a esos docentes de la universidad por inspirar en mí la motivación y el amor hacia esta profesión, permitiéndome formarme para ejercerla con excelencia.

## Resumen

La presente investigación desarrolla un análisis comparativo de la eficiencia constructiva entre el sistema tradicional de hormigón armado colado in situ y el sistema prefabricado, aplicado a una vivienda unifamiliar de tres niveles en la ciudad de Cuenca, Ecuador. El estudio se enfoca en tres variables principales: costos de construcción, tiempos de ejecución y sostenibilidad.

Se estableció un modelo base que fue adaptado a ambos sistemas constructivos bajo condiciones equivalentes de diseño y requerimientos estructurales. La metodología incluyó el predimensionamiento estructural, modelado BIM para la obtención de cantidades de obra, análisis de precios unitarios y evaluación de cronogramas de ejecución.

Los resultados evidencian que, aunque el sistema prefabricado presenta mayores costos iniciales en materiales y equipos, permite reducir significativamente los tiempos de ejecución. Asimismo, presenta un mejor desempeño ambiental debido a la reducción de desperdicios y menor impacto en obra.

Se concluye que el sistema prefabricado constituye una alternativa viable y eficiente para proyectos de vivienda de mediana escala, ofreciendo ventajas en tiempo y sostenibilidad.

**Palabras clave:** prefabricación, construcción tradicional, eficiencia constructiva, costos, tiempo, sostenibilidad.

## **Abstract**

This research presents a comparative analysis of the construction efficiency between the traditional cast-in-place reinforced concrete system and the prefabricated system, applied to a three-story single-family home in the city of Cuenca, Ecuador. The study focuses on three main variables: construction costs, execution time, and sustainability.

A baseline model was established and adapted to both construction systems under equivalent design conditions and structural requirements. The methodology included structural pre-dimensioning, BIM modeling for quantity take-offs, unit price analysis, and evaluation of execution schedules.

The results show that, although the prefabricated system has higher initial costs for materials and equipment, it significantly reduces execution time. It also exhibits better environmental performance due to reduced waste and a smaller construction impact.

It is concluded that the prefabricated system is a viable and efficient alternative for medium-scale housing projects, offering advantages in terms of time and sustainability.

**Keywords:** prefabrication, traditional construction, construction efficiency, costs, time, sustainability.

## **Antecedentes del estudio**

La construcción de viviendas unifamiliares constituye una solución clave frente al creciente déficit habitacional en zonas urbanas de Ecuador. Estos proyectos, que generalmente varían entre dos y cinco niveles, requieren sistemas constructivos que sean eficientes desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, además de garantizar seguridad estructural y confort para los usuarios. En el contexto nacional, el déficit habitacional sigue siendo un desafío relevante, lo que exige soluciones constructivas más eficientes (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). La selección del sistema constructivo influye directamente en los costos, tiempos de ejecución y sostenibilidad de las obras, lo que hace necesario un análisis comparativo entre las opciones disponibles.

El sistema constructivo tradicional en Ecuador se basa principalmente en el hormigón armado, conformado por columnas, vigas y losas, complementadas con muros de mampostería como ladrillo, bloque o tochana, que actúan como cerramiento y soporte secundario. Este sistema es ampliamente utilizado debido a la disponibilidad de materiales y mano de obra en el país (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020). Este método presenta ventajas relevantes, como la adaptabilidad arquitectónica, la disponibilidad de materiales en el mercado local y la experiencia de la mano de obra en su ejecución. Sin embargo, también tiene limitaciones significativas: tiempos prolongados de ejecución debido a procesos de encofrado, vaciado, fraguado y desencofrado; mayores costos indirectos relacionados con la mano de obra y los equipos; y una considerable generación de residuos sólidos, que incrementa el impacto ambiental (Mckinsey Global Institute, 2017).

Frente a estas limitaciones, los sistemas prefabricados surgen como una alternativa eficiente, mediante la producción industrial de elementos constructivos que se transportan y ensamblan en la obra bajo condiciones controladas. La prefabricación permite estandarizar la calidad de los materiales, reducir tiempos de construcción y disminuir el desperdicio de recursos, lo cual ha sido identificado como una tendencia clave en la modernización del sector construcción (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020). No obstante, su implementación requiere planificación logística rigurosa, transporte especializado y equipos como grúas para el montaje, y puede presentar limitaciones frente a diseños no estandarizados. A pesar de estas restricciones, diversos estudios han demostrado que la prefabricación puede reducir los plazos de

ejecución hasta en un 40% y optimizar significativamente los recursos en edificaciones de mediana escala (Mckinsey Global Institute, 2017).

El análisis de sostenibilidad es un factor fundamental para comparar ambos sistemas constructivos. El sistema tradicional genera mayor consumo de agua en obra y un volumen considerable de residuos sólidos, lo que impacta negativamente en el medio ambiente. Por su parte, los sistemas prefabricados permiten centralizar la producción, optimizar materiales, reducir escombros y contribuir a disminuir la huella de carbono. Según el (International Energy Agency IEA, 2021), el sector de la construcción es responsable de una parte significativa del consumo energético global, por lo que la adopción de sistemas más eficientes resulta fundamental para reducir su impacto ambiental. La sostenibilidad también se relaciona con el ciclo de vida de los materiales, la posibilidad de reutilización y el mantenimiento a largo plazo de la edificación.

La incorporación de herramientas tecnológicas como el Building Information Modeling (BIM) ha transformado la planificación y gestión de proyectos de construcción. Estas herramientas permiten integrar información geométrica, estructural, económica y temporal en un modelo digital colaborativo, facilitando un análisis integral durante todo el ciclo de vida de la edificación (Mckinsey Global Institute, 2017). La aplicación de BIM facilita la planificación, cuantificación de materiales y seguimiento de cronogramas, aumentando la eficiencia en proyectos residenciales de mediana escala. En Ecuador, la adopción de tecnologías digitales en construcción aún se encuentra en desarrollo, lo que evidencia la necesidad de fortalecer su implementación para mejorar el control de costos y tiempos en los proyectos.

En conclusión, la literatura y estudios recientes coinciden en que la eficiencia constructiva no solo se mide en términos de rapidez o costos, sino que también considera la sostenibilidad ambiental, la logística, la adaptabilidad del diseño y la calidad de la construcción (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020); (International Energy Agency IEA, 2021). Evaluar las ventajas y limitaciones de los sistemas tradicionales y prefabricados en viviendas unifamiliares de tres niveles permitirá establecer criterios técnicos claros para la toma de decisiones en proyectos urbanos de mediana escala, contribuyendo así a la optimización de recursos y a la mejora de la calidad de la vivienda en Ecuador.

## **Problemática y justificación**

En Ecuador, la industria de la construcción atraviesa un escenario desafiante marcado por el crecimiento urbano acelerado, el aumento sostenido de la demanda habitacional y la presión por optimizar los recursos disponibles. Ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca concentran gran parte del déficit de vivienda, lo que impulsa la necesidad de soluciones constructivas más rápidas, sostenibles y económicamente viables (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

En este contexto, los sistemas tradicionales de construcción, particularmente el hormigón armado colado in situ, continúan siendo los más utilizados debido a la experiencia consolidada de los profesionales, la disponibilidad de mano de obra y la percepción de seguridad estructural; sin embargo, estos métodos suelen implicar tiempos prolongados de ejecución, mayor dependencia de condiciones climáticas y una elevada generación de residuos durante la construcción (Mckinsey Global Institute, 2017).

Desde una perspectiva social, el acceso a vivienda digna en entornos urbanos se ha convertido en una prioridad nacional. El crecimiento de la población y la concentración de habitantes en las ciudades demandan sistemas que hagan posible construir edificios multifamiliares en un tiempo reducido, asegurando estándares de calidad aceptables y costos accesibles (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023). Las constructoras, promotores inmobiliarios y entidades públicas enfrentan limitaciones presupuestarias y exigencias de entrega que los sistemas tradicionales no siempre logran satisfacer con eficiencia.

En el ámbito económico, los proyectos de obra civil se ven afectados por el incremento del costo de materiales como acero y cemento, así como por los gastos derivados de la mano de obra prolongada. Los retrasos en cronogramas generan sobrecostos que impactan directamente la rentabilidad de las construcciones (Mckinsey Global Institute, 2017). En cambio, los sistemas industrializados o prefabricados ofrecen la posibilidad de reducir tiempos de ejecución, minimizar desperdicios y mejorar el control presupuestario, aunque su adopción sigue siendo limitada en el país. Esto se debe, en parte, a la percepción de que los costos iniciales son más elevados y a la escasez de plantas de producción cercanas a los proyectos.

Desde la perspectiva ambiental, la construcción tradicional contribuye de manera significativa a la huella de carbono por el transporte de materiales, el uso intensivo de

recursos no renovables y la generación de escombros. Además, la falta de planificación en obra conduce a desperdicios que no siempre se gestionan de forma adecuada. En contraste, los sistemas prefabricados permiten optimizar el uso de materiales, reducir el impacto en el entorno y minimizar el desperdicio, al producirse los elementos en entornos controlados y con procesos estandarizados. Esto aporta a los objetivos de sostenibilidad que el país ha asumido en sus políticas públicas y compromisos internacionales (International Energy Agency IEA, 2021).

En cuanto al aspecto tecnológico, la construcción prefabricada representa un avance significativo en términos de precisión, control de calidad y estandarización de procesos. No obstante, su implementación en Ecuador aún enfrenta desafíos como la falta de capacitación especializada, la resistencia al cambio por parte de profesionales y clientes, así como la ausencia de normativa detallada que regule su aplicación en edificaciones de uso residencial. Sumado a ello, existe una limitada difusión de estudios comparativos que proporcionen datos técnicos y económicos que respalden la toma de decisiones en proyectos de mediana escala.

El problema central que se identifica es la falta de información objetiva y cuantificable que permita comparar de manera local la eficiencia entre los sistemas constructivos tradicionales y los prefabricados. Esta brecha genera incertidumbre entre los profesionales del sector, quienes suelen optar por métodos convencionales sin considerar alternativas que podrían resultar más ventajosas en términos de tiempo, costos y sostenibilidad.

Como consecuencia, se limita la innovación en el sector y se desaprovecha el potencial de industrialización que podría responder mejor a las demandas actuales del mercado. A partir de esta realidad, surge la necesidad de responder a la siguiente interrogante: ¿Cuál de los dos sistemas constructivos, tradicional o prefabricado, resulta más eficiente para la construcción de una vivienda unifamiliar de tres niveles en términos de costos, tiempos de ejecución y sostenibilidad?

Resolver esta pregunta no solo permitirá analizar comparativamente ambos métodos, sino también ofrecer una base técnica que contribuya a modernizar los procesos constructivos en el país. El aporte principal de este trabajo radica en generar evidencia que permita evaluar la factibilidad del uso de sistemas prefabricados frente a los tradicionales, considerando parámetros reales y aplicables al contexto ecuatoriano. Los resultados

servirán como guía para profesionales, empresas constructoras e instituciones públicas interesadas en optimizar la planificación de proyectos. Además, el estudio aportará una visión integral sobre la construcción eficiente, incorporando variables económicas, ambientales y tecnológicas que promuevan prácticas sostenibles y competitivas. Por ende, este trabajo de titulación busca llenar un vacío técnico existente, aportando una herramienta comparativa que facilite la toma de decisiones informadas en el diseño y ejecución de viviendas unifamiliares. Con ello, se contribuye a mejorar la productividad del sector construcción, a promover alternativas sostenibles y a responder de manera más efectiva a las necesidades actuales de vivienda en el país.

# Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Antecedentes del estudio	vi
Problemática y justificación	viii
Índice de contenidos	xi
Índice de ilustraciones	xv
Índice de tablas	xvii
Índice de gráficos	xviii
Objetivos	xix
Objetivo general	xix
Objetivos específicos	xix
1. Capítulo 1	1
1.1. Introducción	1
1.2. Contexto urbano y habitacional en Ecuador	2
1.2.1. Contexto urbano	2
1.2.2. Crecimiento urbano y expansión territorial	3
1.2.3. Déficit habitacional y tipologías de vivienda	3
1.3. Sistemas constructivos aplicados a viviendas unifamiliares	4
1.3.1. Sistema tradicional de hormigón armado colado in situ	4
1.3.2. Sistema prefabricado	5
1.4. Evolución de los sistemas constructivos en Ecuador	7
1.5. Proceso constructivo típico en cada sistema	8
1.5.1. Proceso constructivo típico del sistema tradicional	8

1.5.2.	Proceso constructivo típico del sistema prefabricado	9
1.6.	Análisis urbano comparativo: Ecuador, región y mundo	9
1.6.1.	Urbanización acelerada y necesidades habitacionales	9
1.6.2.	Desafíos urbanos de Cuenca	10
1.7.	Sostenibilidad y eficiencia constructiva	10
1.7.1.	Impacto ambiental de la construcción tradicional y prefabricada.	10
1.8.	Herramientas tecnológicas: El rol del BIM	11
1.9.	Evolución del prefabricado en el mundo	11
2.	Capítulo 2	13
2.1	Introducción del capítulo	13
2.2	Descripción del proyecto referencial	13
2.3	Metodología de análisis comparativo	16
2.4	Análisis del sistema constructivo tradicional	18
2.4.1	Proceso constructivo	18
2.4.2	Análisis de costos del sistema tradicional	19
2.4.3	Tiempos de ejecución	29
2.4.4	Impacto ambiental	32
2.5	Análisis del sistema constructivo prefabricado	33
2.5.1	Proceso constructivo prefabricado	33
2.5.2	Análisis de costos del sistema prefabricado	35
2.5.3	Tiempos de ejecución	42
2.5.4	Impacto ambiental	45
2.6	Comparación detallada de resultados entre el sistema tradicional y el sistema prefabricado	46
2.6.1	Comparación de costos directos	46
2.6.2	Comparación de costos indirectos	47
2.6.3	Comparación de tiempos de ejecución	47

2.6.4 Comparación del impacto ambiental _____	48
2.6.5 Comparación del desempeño constructivo y calidad _____	48
2.7 Discusión técnica ampliada _____	49
2.7.1 Influencia de la logística y el transporte _____	49
2.7.2 Análisis del ciclo de vida de la edificación _____	49
2.7.3 Flexibilidad arquitectónica y adaptabilidad _____	49
2.7.4 Viabilidad técnica en el contexto ecuatoriano _____	50
2.8 Tablas comparativas de resultados _____	50
2.9 Análisis integrado y criterio personal _____	51
2.10 Conclusiones del capítulo _____	51
3. Capítulo 3 _____	53
3.1 Introducción del capítulo _____	53
3.2 Modelado BIM del proyecto _____	54
3.3 Análisis de cantidades de obra _____	55
3.4 Análisis de costos del sistema tradicional _____	56
3.4.1 Costos de materiales _____	56
3.4.2 Costos de mano de obra _____	56
3.4.3 Costos de equipos _____	57
3.4.4 Costos de transporte _____	57
3.4.5 Costos indirectos _____	57
3.4.6 Presupuesto total _____	57
3.5 Análisis de costos del sistema prefabricado _____	57
3.5.1 Costos de materiales _____	58
3.5.2 Costos de mano de obra _____	58
3.5.3 Costos de equipos _____	59
3.5.4 Costos de transporte _____	59
3.5.5 Costos indirectos _____	59

3.5.6 Presupuesto total del sistema prefabricado _____	60
3.6 Comparación y análisis de resultados _____	60
3.6.1 Comparación de costos de materiales _____	60
3.6.2 Comparación de mano de obra _____	61
3.6.3 Comparación de equipos _____	63
3.6.4 Comparación de transporte _____	64
3.6.5 Comparación de costos indirectos _____	66
3.6.6 Comparación del costo total del proyecto _____	67
3.7 Comparación de tiempos de ejecución _____	68
3.8 Discusión de resultados _____	70
3.8.1 Optimización del factor tiempo _____	70
3.8.2 Análisis de costos y reducción de desperdicios _____	71
3.8.3 Calidad estructural y sostenibilidad _____	71
3.8.4 Análisis de ventajas y limitaciones de los sistemas constructivos _____	71
3.9 Síntesis de cumplimiento de objetivos en el desarrollo experimental _____	73
3.10 Conclusiones del capítulo _____	73
4. Conclusiones finales _____	76
5. Recomendaciones _____	78
Referencias bibliográficas _____	80

# Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Sistema tradicional</i>	4
<i>Ilustración 2: Sistema Prefabricado</i>	6
<i>Ilustración 3: Vista 3D del proyecto</i>	14
<i>Ilustración 4: Vista 3D de la estructura del proyecto</i>	15
<i>Ilustración 5: Vista en planta de la primera y segunda planta alta</i>	15
<i>Ilustración 6: Vista en planta tercera planta alta</i>	16
<i>Ilustración 7: Modelado de acero de refuerzo en el sistema tradicional y prefabricado de hormigón armado</i>	17
<i>Ilustración 8: Elementos estructurales principales del método tradicional</i>	19
<i>Ilustración 9: Planilla de mampostería proporcionada por el programa de modelado Revit</i>	20
<i>Ilustración 10: Uso de planilla de mampostería en el programa Excel</i>	21
<i>Ilustración 11: Planilla de hierros proporcionada por el programa de modelado Revit</i>	21
<i>Ilustración 12: Planilla de resumen de hormigón por elemento proporcionada por el programa de modelado Revit</i>	22
<i>Ilustración 13: Registro de APU tipo, mampostería de bloque</i>	23
<i>Ilustración 14: Resumen consolidado del análisis de precios unitarios (APU) por rubros constructivos en el sistema tradicional</i>	24
<i>Ilustración 15: Presupuesto referencial de obra para la construcción de vivienda unifamiliar de tres niveles en hormigón armado en el sistema tradicional</i>	25
<i>Ilustración 16: Distribución de costos de equipos del proyecto en el sistema tradicional</i>	26
<i>Ilustración 17: Distribución de costos de mano de obra del proyecto en el sistema tradicional</i>	26
<i>Ilustración 18: Distribución de costos de materiales del proyecto en el sistema tradicional</i>	27
<i>Ilustración 19: Distribución de costos de transporte materiales del proyecto en el sistema tradicional</i>	27
<i>Ilustración 20: Resumen general del presupuesto del proyecto en el sistema tradicional</i>	28
<i>Ilustración 21: Distribución porcentual de los costos del Proyecto en el sistema tradicional</i>	28
<i>Ilustración 22: Determinación de tiempos de ejecución por actividad según rendimientos del sistema tradicional</i>	30
<i>Ilustración 23: Cronograma valorado del proyecto por semanas del sistema tradicional</i>	30
<i>Ilustración 24: Histograma de inversión semanal del proyecto</i>	31
<i>Ilustración 25: Curva S de inversión acumulada del proyecto</i>	32
<i>Ilustración 26: Elementos estructurales principales del método prefabricado</i>	34
<i>Ilustración 27: Vigas T invertida y L prefabricadas</i>	35
<i>Ilustración 28: Losas doble T prefabricadas</i>	35
<i>Ilustración 29: Planilla de cantidades Viga T invertida prefabricada obtenida en Revit</i>	36
<i>Ilustración 30: Registro de APU viga T invertida método prefabricado</i>	37

<i>Ilustración 31: Resumen consolidado del análisis de precios unitarios (APU) por rubros constructivos en el sistema prefabricado</i>	38
<i>Ilustración 32: Presupuesto referencial de obra para la construcción de vivienda unifamiliar de tres niveles en hormigón armado en el sistema prefabricado</i>	39
<i>Ilustración 33: Distribución de costos de equipos del proyecto en el sistema prefabricado</i>	40
<i>Ilustración 34: Distribución de costos de mano de obra del proyecto en el sistema prefabricado</i>	40
<i>Ilustración 35: Distribución de costos de materiales del proyecto en el sistema prefabricado</i>	41
<i>Ilustración 36: Distribución de costos de transporte de materiales del proyecto en el sistema prefabricado</i>	41
<i>Ilustración 37: Resumen general del presupuesto del proyecto en el sistema prefabricado</i>	41
<i>Ilustración 38: Distribución porcentual de los costos del Proyecto en el sistema prefabricado</i>	42
<i>Ilustración 39: Determinación de tiempos de ejecución por actividad según rendimientos del sistema tradicional</i>	43
<i>Ilustración 40: Cronograma valorado del proyecto por semanas del sistema prefabricado</i>	44
<i>Ilustración 41: Histograma de inversión semanal del proyecto</i>	44
<i>Ilustración 42: Curva S de inversión acumulada del proyecto</i>	45

## Índice de tablas

<i>Tabla 1: Comparación general de costos</i> .....	50
<i>Tabla 2: Comparación de tiempos de ejecución</i> .....	50
<i>Tabla 3: Comparación ambiental</i> .....	51

## Índice de gráficos

<i>Gráfico 1: Comparación de costos de materiales</i> .....	60
<i>Gráfico 2: Comparación en % de costos de materiales</i> .....	61
<i>Gráfico 3: Comparacion de la mano de obra</i> .....	62
<i>Gráfico 4: Comparacion en % de la mano de obra</i> .....	62
<i>Gráfico 5: Comparación de equipos</i> .....	63
<i>Gráfico 6: Comparación en % de equipos</i> .....	63
<i>Gráfico 7: Comparacion de transporte</i> .....	64
<i>Gráfico 8: Comparacion en % de transporte</i> .....	65
<i>Gráfico 9: Comparación de costos indirectos</i> .....	66
<i>Gráfico 10: Comparación en % de costos indirectos</i> .....	66
<i>Gráfico 11: Comparación del costo general del proyecto</i> .....	67
<i>Gráfico 12: Comparación en % del costo general del proyecto</i> .....	67
<i>Gráfico 13: Comparación del tiempo de ejecución en días</i> .....	68
<i>Gráfico 14: Comparación del tiempo de ejecución en semanas</i> .....	69
<i>Gráfico 15: Comparación en % del tiempo de ejecución</i> .....	69

# Objetivos

## Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de la eficiencia constructiva en una vivienda unifamiliar de tres niveles mediante los sistemas tradicional y prefabricado, considerando costos, tiempos de ejecución y sostenibilidad, para identificar la alternativa más ventajosa y proponer criterios de decisión aplicables a proyectos de mediana escala en contextos urbanos de la ciudad de Cuenca.

## Objetivos específicos

- Determinar un modelo base que se adecue a requisitos para elementos prefabricados con el fin de realizar la comparación entre sistemas constructivos.
- Realizar un prediseño para el uso de elementos prefabricados dentro del modelo que se va a estudiar.
- Comparar los costos directos e indirectos de la construcción mediante sistemas tradicionales y prefabricados, considerando materiales, mano de obra, transporte y equipos.
- Analizar los plazos de ejecución de ambos métodos constructivos, identificando los factores que influyen en la logística, disponibilidad de insumos y procesos de obra.
- Evaluar la sostenibilidad de cada sistema constructivo mediante indicadores de generación de desechos, consumo energético y huella ambiental.
- Examinar las ventajas y limitaciones técnicas de los sistemas tradicional y prefabricado, para establecer lineamientos aplicables a proyectos de mediana altura en zonas urbanas.

# 1. Capítulo 1

## 1.1. Introducción

La construcción constituye uno de los sectores de mayor impacto económico, social y territorial en Ecuador y en gran parte del mundo. Su influencia se extiende desde la generación de empleo directo e indirecto hasta la configuración del espacio urbano y la disponibilidad de vivienda para la población. En los últimos años, este sector ha experimentado presiones crecientes derivadas de la urbanización acelerada, el aumento del déficit habitacional y la necesidad de incorporar prácticas constructivas más sostenibles y eficientes (United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2022).

En Ecuador, la construcción de viviendas unifamiliares se ha basado históricamente en sistemas tradicionales, particularmente en el uso del hormigón armado colado in situ. Este tipo de construcción ha sido predominante debido a la cultura constructiva, la disponibilidad de mano de obra y la percepción de que estos sistemas aportan mayor seguridad estructural. Sin embargo, los métodos tradicionales muestran limitaciones importantes en cuanto al control de calidad, tiempos de obra, productividad de la mano de obra y sostenibilidad ambiental (Mckinsey Global Institute, 2017).

Paralelamente, en varios países se ha consolidado la tendencia hacia la industrialización de la construcción mediante sistemas prefabricados, modulares y panelizados. Japón, Suecia, Alemania, China y Estados Unidos han logrado reducir tiempos de ejecución entre un 30% y 60% gracias a procesos de fabricación en planta, estandarización de elementos y automatización (Mckinsey Global Institute, 2017). La experiencia internacional evidencia que la prefabricación permite mejorar la eficiencia global del proyecto, reducir residuos en obra y aumentar la productividad, aspectos que son críticos en el contexto ecuatoriano.

En consecuencia, este capítulo presenta una revisión profunda del contexto constructivo nacional e internacional, del marco conceptual sobre los sistemas tradicionales y prefabricados, del rol de la sostenibilidad y de las herramientas tecnológicas como BIM en el análisis comparativo de viviendas unifamiliares de tres niveles. El propósito es establecer un sustento teórico robusto que permita comprender la problemática y

fundamentar el análisis técnico de los capítulos posteriores que se desarrollaran más adelante.

## **1.2.Contexto urbano y habitacional en Ecuador**

### **1.2.1. Contexto urbano**

En Ecuador, el desarrollo urbano atraviesa un acelerado crecimiento de expansión hacia nuevas zonas para usos residenciales, es por eso que, las viviendas unifamiliares han generado un crecimiento en la demanda de estas.

Este fenómeno responde a una combinación de factores socioeconómicos, demográficos y culturales que han impulsado el incremento de la población urbana y, con ello, la necesidad de nuevos espacios habitables.

El proceso de urbanización se ha caracterizado en muchos casos por una expansión horizontal hacia nuevas zonas de las ciudades, la cual ha dado lugar a una ocupación de gran parte de suelos y a la formación de nuevas zonas periféricas con diferentes niveles de consolidación.

Durante las últimas décadas, las principales ciudades de Ecuador como Quito, Guayaquil y Cuenca han experimentado acelerados crecimientos de expansión urbana, pero no siempre han ido acompañados de una buena planificación territorial. Esto ha provocado una expansión más dispersa con la creación de sectores deficientes en infraestructura y servicios básicos. Sin embargo, esto ha generado un patrón hacia el desarrollo de nuevas zonas residenciales, especialmente de viviendas unifamiliares que buscan responder ante la demanda de vivienda propia por parte de la población.

De igual manera, el estado ecuatoriano ha implementado diversos programas para fomentar el acceso a viviendas más dignas, las cuales han sido priorizadas por viviendas unifamiliares que son más eficaces en términos de economía y calidad. Estos programas han priorizado la dotación de infraestructura básica hacia diferentes zonas según su contexto urbano en el país.

En este sentido, el desarrollo urbano en el país enfrenta el desafío de equilibrar la expansión territorial de las ciudades con el ámbito de la sostenibilidad ambiental, la eficiencia de uso de suelo y la calidad de vida de sus habitantes.

### **1.2.2. Crecimiento urbano y expansión territorial**

Durante las últimas décadas, ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca han experimentado un crecimiento urbano acelerado. Según el (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020), más del 65% de la población ecuatoriana vive reside en zonas urbanas, y se proyecta que este valor supere el 75% para el año 2035. Este crecimiento ha dado lugar a una expansión territorial caracterizada por:

- Expansión horizontal hacia periferias.
- Ocupación de suelo rural para urbanizaciones nuevas.
- Densificación desigual entre zonas consolidadas y nuevas áreas residenciales.
- Creación de sectores con infraestructura parcial o limitada.

Esta dinámica no es exclusiva de Ecuador. Ciudades de América Latina como Lima, Bogotá, Ciudad de México y Santiago han enfrentado retos similares, con extensiones urbanas fragmentadas y un aumento significativo del déficit de vivienda (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023). Como resultado, gobiernos municipales y organismos internacionales han insistido en la necesidad de promover viviendas eficientes, sostenibles y construidas en plazos más cortos.

### **1.2.3. Déficit habitacional y tipologías de vivienda**

El déficit habitacional en Ecuador supera las 800.000 viviendas, según estimaciones del NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). Este déficit incluye tanto la falta de nuevas unidades como viviendas inadecuadas o en mal estado. Ante esta situación, las viviendas unifamiliares de dos y tres niveles se han consolidado como una alternativa viable para familias con crecimiento progresivo y recursos limitados.

Ciudades como Cuenca muestran una demanda creciente de viviendas formales, impulsada por:

- Crecimiento demográfico.
- Migración interna.
- Necesidad de espacios propios.
- Ampliación de sectores urbanizables en parroquias periféricas.

Esta realidad justifica la importancia de evaluar sistemas que aceleren la construcción y permitan soluciones más accesibles, sin comprometer la calidad estructural ni la sostenibilidad ambiental.

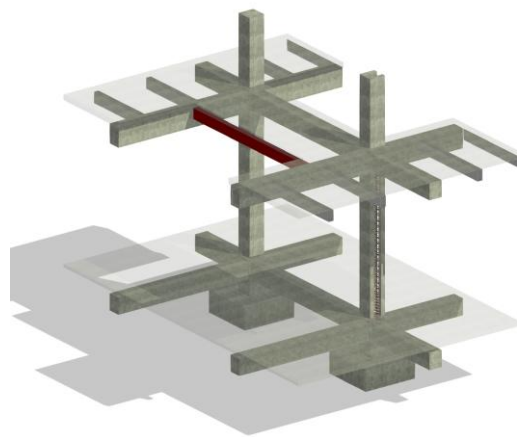
### **1.3.Sistemas constructivos aplicados a viviendas unifamiliares**

Los sistemas constructivos empleados en viviendas de mediana altura (dos o tres niveles) condicionan de forma directa los costos, los tiempos de ejecución, el desempeño sísmico y el impacto ambiental del proyecto. En este sentido, se analizan dos sistemas ampliamente estudiados: el sistema tradicional y el sistema prefabricado, cada uno con características propias.

#### **1.3.1. Sistema tradicional de hormigón armado colado in situ**

El sistema constructivo tradicional en Ecuador es un sistema de construcción secuencial con el que la mayoría de las viviendas unifamiliares han sido construidas a lo largo del tiempo, ya que es un sistema rápido y fácil de ejecutar, el mismo se basa en emplear pórticos de hormigón armado, conformado por elementos estructurales como columnas, vigas, losas, zapatas y otros, todos estos elementos son ejecutados in situ ya que se ejecutan por completo en obra. Otros elementos que lleva este sistema, es el uso de mamposterías como ladrillo, bloque o tochana que trabajan como separadores de ambiente y cerramiento, mas no como elementos estructurales.

*Ilustración 1: Sistema tradicional*



*Fuente: Elaboración propia*

Este sistema ofrece ventajas como:

- Adaptabilidad arquitectónica que permite libertad en el diseño.
- Flexibilidad para ejecutarse en terrenos con geometría irregular.
- Disponibilidad de materiales en ferreterías locales.
- Mano de obra económica y con experiencia en la ejecución de este sistema.

Estas ventajas explican por qué más del 80% de las viviendas en Ecuador se construyen con este sistema (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020). Pero a su vez también presenta ciertas limitaciones que se han visto a lo largo de la ejecución de este sistema, tales como:

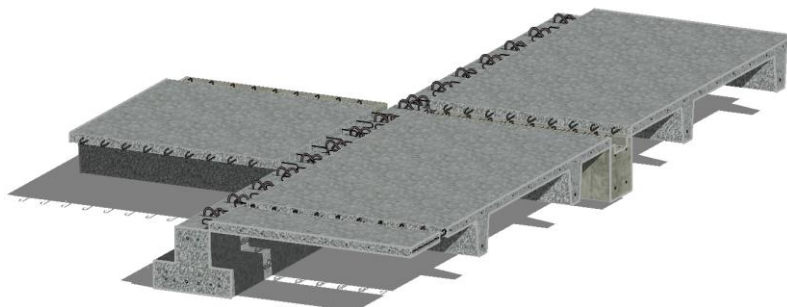
- Tiempos prolongados de ejecución debido a la mano de obra y tiempos de fraguado.
- Mayor exposición al clima, debido a las lluvias y humedad generada.
- Altos costos indirectos relacionados al uso intensivo de mano de obra y maquinaria.
- Mayor impacto ambiental debido a la generación de residuos.

Estas dificultades han motivado el estudio de alternativas industrializadas.

### **1.3.2. Sistema prefabricado**

El sistema prefabricado no tiene mucho desde su llegada e implementación en Ecuador pues no es un sistema del que todas las constructoras tengan la experiencia para ejecutarlo en sus proyectos, este sistema consiste en la producción de elementos estructurales en fábricas o plantas industriales bajo condiciones controladas por profesionales y expertos en el sistema, para posterior ser transportados y ensamblados en obra de manera más eficiente y rápida. Países como Japón y Suecia han logrado industrializar hasta el 70% de su vivienda social mediante este método (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020).

*Ilustración 2: Sistema Prefabricado*



*Fuente: Elaboración propia*

De igual manera, este sistema ofrece varias ventajas al momento de llevarse a cabo, tales como:

- Reducción significativa de los tiempos de ejecución hasta en un 40%–60% (Mckinsey Global Institute, 2017).
- Control de calidad más riguroso al ser trabajado en plantas industriales bajo normativas nacionales e internacionales.
- Menor interferencia climática ya que gran parte del trabajo se realiza en planta.
- Menor impacto ambiental debido a la disminución de desperdicios en obra.

A la vez presenta ciertas limitaciones que deben ser revisadas desde antes de ejecutar el sistema, estos son:

- Planificación previa más detallada para evitar conflictos en obra.
- Menor flexibilidad para modificaciones en obra.
- Necesidad de maquinaria para su montaje en obra, tales como, grúas y equipos especializados para su transporte.
- Altos costos logísticos si las plantas están alejadas del proyecto.
- Requiere diseño estructural compatible con módulos estandarizados.

- Mano de obra calificada para su montaje.

#### **1.4. Evolución de los sistemas constructivos en Ecuador**

En Ecuador la evolución de los sistemas constructivos ha sido notable debido a una progresiva transición que va desde técnicas artesanales hasta los métodos industrializados más recientes. En los inicios de la construcción en Ecuador las edificaciones se levantaban mediante sistemas artesanales con adobe como su principal y más utilizado material constructivo, otros materiales que resaltaban en la época era el bahareque, el tapial y la madera, los cuales eran materiales de fácil acceso debido a que se encuentran dentro del entorno de la zona donde se planea construir. Aunque estas técnicas eran apropiadas para esas épocas, las mismas presentaban varias limitaciones como vida útil de la estructura muy corta, comportamiento ineficaz frente a cargas sísmicas, desgaste muy notorio de la estructura y entre otros, es por esto por lo que la construcción se vio en la necesidad de evolucionar y buscar nuevos sistemas constructivos con tecnologías más desarrolladas.

Durante el siglo XX un nuevo sistema constructivo se empezó a dar lugar en Ecuador, el hormigón armado fue un método que arrasó por las principales ciudades del país al ser visto como una tecnología más resistente y duradero que rápidamente se extendió de forma progresiva hacia su aplicación en viviendas unifamiliares. Como ya se mencionó, las ventajas que empezó a ofrecer este sistema constructivo fueron la disponibilidad de materiales, su rigidez estructural y la creciente especialización en la mano de obra en el país. A su vez, la aplicación del ladrillo, bloque y tochana fue integrado como cerramiento a los pórticos y dando lugar a los sistemas de mampostería confinada para así convertirse en una de las tipologías más utilizadas en el país hasta ahora.

Por otro lado, los sistemas prefabricados son sistemas relativamente recientes en Ecuador que se dieron como una solución más efectiva para la reducción de los largos tiempos de ejecución de los otros sistemas constructivos. Su principal aplicación comenzó en estructural de gran volumen tales como, naves industriales, bodegas y puentes, donde la eficiencia en tiempos resultaba muy ventajosa. Sin embargo, la introducción de este sistema a la construcción de viviendas unifamiliares se ha visto en un crecimiento que va muy lento debido a limitaciones como escasa disponibilidad de plantas de producción, falta de mano de obra con experiencia y los costos iniciales del proyecto ya que estos suelen ser elevados, pero suelen compensarse la reducción de costos en mano de obra debido a su rápida ejecución. A pesar de esto, esta tecnología se ha visto en un crecimiento

repentino en los últimos años debido a nuevos ingenieros más jóvenes que ven este sistema como una alternativa más eficiente y sostenible que los métodos tradicionales en el país.

## **1.5. Proceso constructivo típico en cada sistema**

### **1.5.1. Proceso constructivo típico del sistema tradicional**

El sistema tradicional es un método que se basa en el uso de pórticos de hormigón armado colados in situ, este método posee un proceso secuencial y lineal el cual depende de actividades previas para la ejecución de nuevas actividades de forma progresiva y a su vez depende de gran medida de la mano de obra.

Dentro de las principales actividades de este sistema sobresale, excavación y nivelación del terreno, proceso de construcción de cimentación con armados de parrillas y plintos para su debido colado in situ, posteriormente se funde el replantillo y se nivela los armados de columnas para su debido encofrado y fundición, después se procede a colocar los puntales para armar la losa y vigas estructurales y seguir con el vaciado de hormigón, este proceso suele ser muy tardío debido a los tiempos de fraguado y curado a no ser que se utilicen aditivos para acelerar estos tiempos pero aun así es un proceso que toma una gran cantidad de tiempo antes de poder continuar con los siguientes niveles de la estructura.

Una vez que la estructura ya está levantada con todos sus elementos estructurales se procede a los elementos no estructurales como el ladrillo, bloque o tochana que funciona como cerramiento para separar ambientes dentro de los pórticos de la estructura, este proceso a veces suele ser incluso más demorado que el proceso de la construcción de la estructura dependiendo el nivel de calidad o acabado que se pretende utilizar estos cerramientos.

Este método es considerado uno de los mayores generadores de residuos y por ende uno de los menos sostenibles ya que los residuos generados como escombros de ladrillo, hormigón seco e incluso los sacos de papel y plástico de los cementos suelen acumularse de gran manera dentro de la obra, es por eso que se contrata volquetas para su debido transporte a escombreras como es el caso en la ciudad de Cuenca y se procede a pagar dependiendo el volumen que cada volqueta posee para transportar los escombros.

### **1.5.2. Proceso constructivo típico del sistema prefabricado**

Por otro lado, el sistema constructivo de prefabricado como ya se mencionó previamente, es un sistema que pretende dar alternativas más eficientes en temas de tiempo, este sistema se caracteriza por ser elementos estructurales y no estructurales que ya vienen pre hechos desde plantas industriales donde tienen un mejor control de calidad ya que posee mano de obra mucho más especializada y calificada. Los elementos estructurales que destacan dentro del prefabricado suelen ser columnas, vigas y losas coladas previamente en su planta industrial.

El procedimiento de este sistema generalmente empieza a partir de un proyecto BIM donde las piezas o elementos son diseñados y modelados con la finalidad de obtener cuantificaciones más exactas y así optimizar el proceso. Posteriormente a esto, los elementos son construidos por mano de obra calificada que arma, encofra y cola los elementos de manera mucho más efectiva y precisa para no generar residuos, una vez finalizado este proceso los elementos son transportados al proyecto y montados mediante grúas y equipos especializados para el buen manejo de los elementos. Dentro del montaje, los elementos son ensamblados mediante pernos, placas metálicas o soldaduras dependiendo el elemento y lo que demanda el cálculo estructural, esto permite una mejor calidad en la resistencia de la estructura y una significativa reducción de residuos dentro del proyecto por lo que pasa a ser más sostenible que otros sistemas y ya no tiende a poseer una alta dependencia en las condiciones climáticas de la zona.

La alternativa de poder fabricar elementos en plantas industriales y ensamblarlos en obra simultáneamente permite reducir los tiempos de ejecución de manera significativa y por ende explica la creciente adopción de este método en proyectos que requieren eficiencia y rapidez dentro del país.

## **1.6. Análisis urbano comparativo: Ecuador, región y mundo**

### **1.6.1. Urbanización acelerada y necesidades habitacionales**

Según (United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) , 2022), América Latina es la región más urbanizada del mundo en desarrollo, con un 82% de población urbana. Este crecimiento ha generado:

- Déficit habitacional persistente.
- Informalidad en la construcción.

- Ocupación desordenada del territorio.
- Necesidad urgente de viviendas eficientes.

Ecuador comparte estas características y enfrenta desafíos adicionales como:

- Suelos inestables en zonas de expansión.
- Altos costos logísticos.
- Ciudades intermedias en crecimiento (Cuenca, Ambato, Manta).
- Vulnerabilidad sísmica.

### **1.6.2. Desafíos urbanos de Cuenca**

Cuenca presenta características particulares:

- Crecimiento hacia parroquias rurales urbanizadas como Baños, Ricaurte y Sayausí.
- Limitaciones normativas para densificar ciertas zonas.
- Presión por viviendas unifamiliares debido a la composición familiar local.
- Necesidad de sistemas constructivos más rápidos debido al clima frío y húmedo que retrasa el fraguado del concreto.

Este contexto hace especialmente relevante el análisis comparativo entre sistemas.

## **1.7.Sostenibilidad y eficiencia constructiva**

### **1.7.1. Impacto ambiental de la construcción tradicional y prefabricada.**

La construcción tradicional presenta impactos ambientales significativos:

- Alto consumo de agua durante mezclas y curado.
- Emisiones asociadas al transporte diario de materiales.
- Generación de escombros por cortes, desperdicios y encofrados.
- Mayor ruido y polvo en entornos urbanos.

Por su parte, la prefabricación contribuye a la sostenibilidad porque:

- Reduce el transporte de materiales al concentrarlos en planta.
- Minimiza los residuos finales.

- Requiere menos agua.
- Disminuye los tiempos de obra, reduciendo el impacto en el entorno urbano.

Estudios de la Agencia Internacional de Energía indican que los sistemas industrializados pueden reducir hasta un 30% la huella de carbono total del ciclo constructivo. (International Energy Agency IEA, 2021).

### **1.8.Herramientas tecnológicas: El rol del BIM**

El Building Information Modeling (BIM) se ha convertido en una herramienta clave para mejorar la precisión en diseño, planificación, medición y control de obra. En el Ecuador, su adopción aún es limitada, pero investigaciones recientes evidencian que su uso reduce errores, mejora la coordinación y permite comparar sistemas constructivos bajo condiciones similares (Mckinsey Global Institute, 2017).

BIM permite simular:

- Procesos de montaje prefabricado.
- Secuencias de vaciado en sistema tradicional.
- Cantidades exactas de materiales.
- Cronogramas ajustados.
- Costos directos e indirectos.

Su aplicación en esta investigación ofrece un método objetivo de comparación entre ambos sistemas.

### **1.9.Evolución del prefabricado en el mundo**

La prefabricación no es un concepto reciente; tiene antecedentes desde el siglo XIX. Sin embargo, adquirió relevancia mundial después de la Segunda Guerra Mundial, cuando muchos países necesitaban reconstruir millones de viviendas en corto tiempo.

- **Reino Unido:** desarrolló viviendas prefabricadas para sustituir barrios destruidos por los bombardeos.
- **Japón:** industrializó la construcción tras los terremotos de 1923 y 1945, creando estándares sísmicos estrictos.
- **Alemania y Suecia:** implementaron sistemas panelizados en madera para viviendas sociales a gran escala.

- **China:** desde 2010 ha implementado políticas estatales para promover la construcción modular, logrando edificar estructuras de 30 pisos en menos de 15 días mediante procesos industrializados (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020).

Estos modelos evidencian que la prefabricación se vincula directamente con la productividad y la eficiencia constructiva.

## **2. Capítulo 2**

### **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL Y PREFABRICADO EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE TRES NIVELES**

#### **2.1 Introducción del capítulo**

El presente capítulo tiene como finalidad desarrollar un análisis técnico comparativo detallado de la eficiencia constructiva entre el sistema tradicional de hormigón armado colado in situ y el sistema constructivo prefabricado, aplicados a una vivienda unifamiliar de tres niveles ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Este análisis se realiza considerando el contexto constructivo nacional, las condiciones urbanas locales y la normativa técnica vigente, con el objetivo de evaluar de manera integral el desempeño de ambos sistemas.

La comparación se centra principalmente en tres variables fundamentales del proceso constructivo: costos, tiempos de ejecución y sostenibilidad ambiental. Estas variables constituyen indicadores clave para la toma de decisiones en proyectos de edificación, ya que influyen directamente en la viabilidad económica, el cumplimiento de plazos y el impacto ambiental de las obras civiles (Mckinsey Global Institute, 2017); (International Energy Agency IEA, 2021). En el contexto actual, caracterizado por la necesidad de optimizar recursos y reducir impactos ambientales, resulta indispensable analizar alternativas constructivas que aporten mayor eficiencia sin comprometer la seguridad estructural.

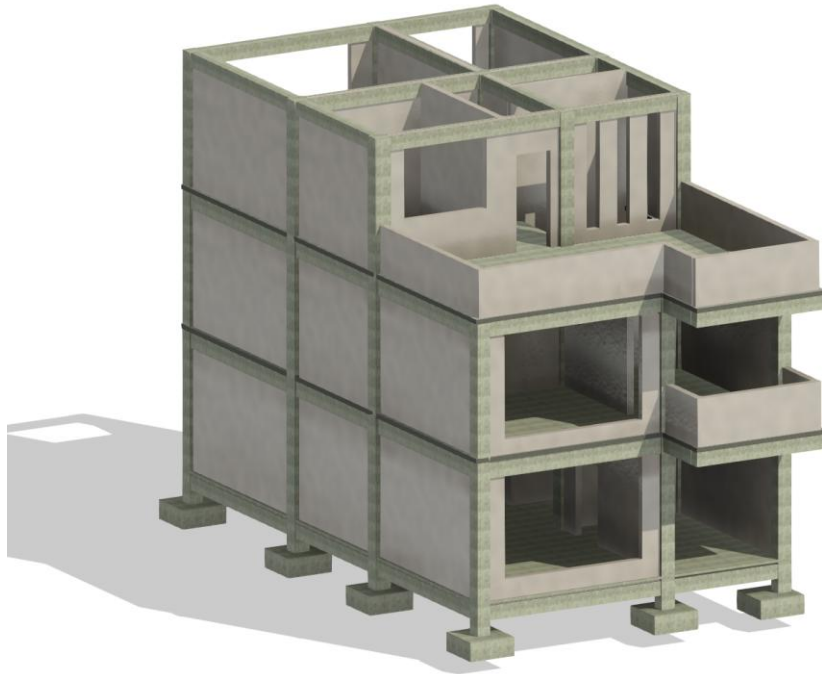
Asimismo, el desarrollo de este capítulo busca aportar un criterio técnico fundamentado, propio de la formación en Ingeniería Civil, que permita establecer ventajas y limitaciones de cada sistema constructivo. De esta manera, se pretende generar información académica y técnica que sirva como referencia para profesionales, estudiantes y promotores de proyectos de vivienda unifamiliar de mediana escala.

#### **2.2 Descripción del proyecto referencial**

El proyecto referencial seleccionado para el presente análisis corresponde a una vivienda unifamiliar de tres niveles, con un área total de construcción de 254,80 m<sup>2</sup>, ubicada en el sector de Ricaurte, cantón Cuenca, provincia del Azuay. La edificación se emplaza en un entorno urbano consolidado, con acceso a servicios básicos y vías de circulación, lo cual representa condiciones típicas para el desarrollo de proyectos habitacionales en la ciudad.

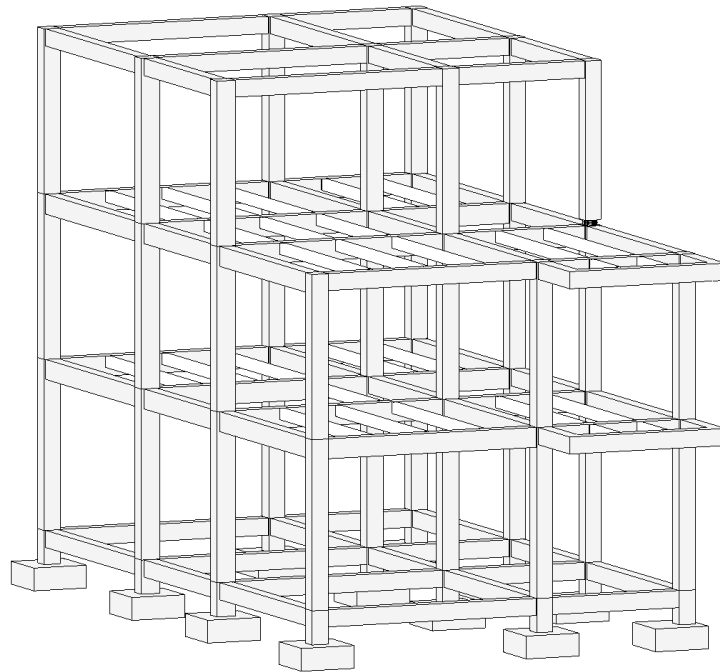
La vivienda presenta una distribución arquitectónica funcional y acorde a las necesidades habitacionales contemporáneas. En la planta baja se disponen áreas sociales como sala, comedor y cocina, mientras que en los niveles superiores se ubican los dormitorios, servicios higiénicos y áreas privadas. Esta organización espacial permite una adecuada circulación vertical y una eficiente distribución de cargas hacia la estructura.

*Ilustración 3: Vista 3D del proyecto*



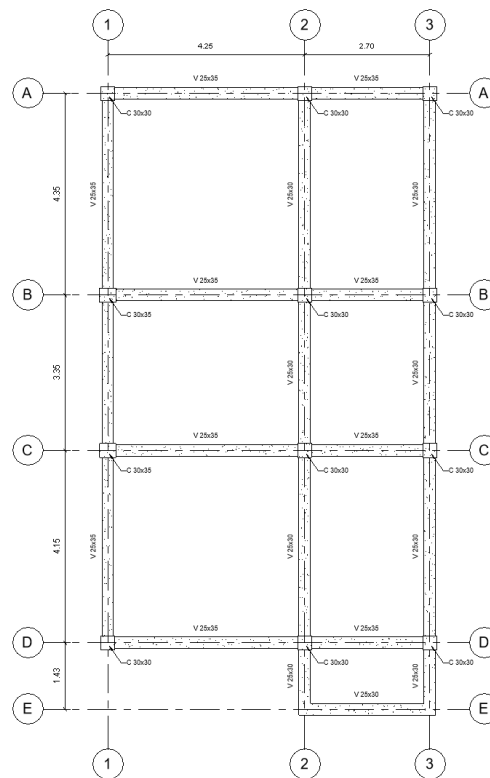
*Fuente: Elaboración propia*

Ilustración 4: Vista 3D de la estructura del proyecto



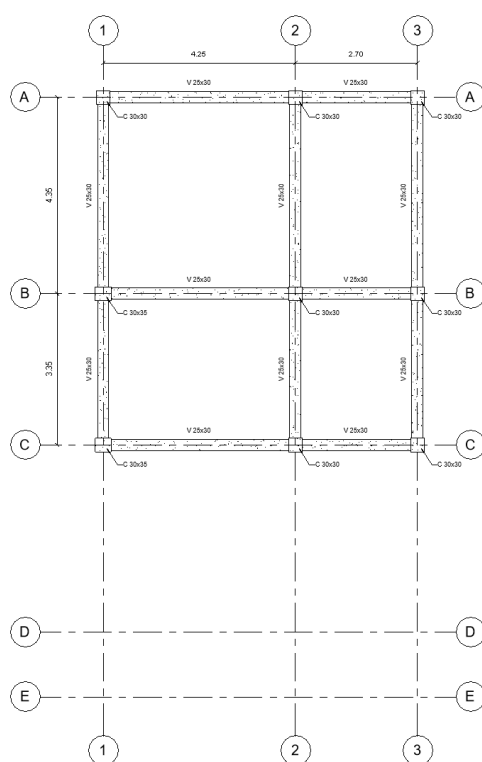
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5: Vista en planta de la primera y segunda planta alta



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6: Vista en planta tercera planta alta



Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista estructural, el proyecto original fue concebido bajo un sistema tradicional de hormigón armado, conformado por cimentaciones superficiales mediante zapatas aisladas, columnas, vigas y losas macizas. La geometría regular de la edificación, así como la alineación vertical de los elementos estructurales, facilita su análisis estructural y permite su adaptación a un sistema prefabricado sin requerir modificaciones arquitectónicas significativas, aspecto fundamental para garantizar la comparabilidad entre ambos sistemas.

Adicionalmente, la ubicación del proyecto en una zona de amenaza sísmica moderada refuerza la necesidad de evaluar sistemas constructivos que garanticen un adecuado desempeño estructural conforme a la normativa vigente (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

### 2.3 Metodología de análisis comparativo

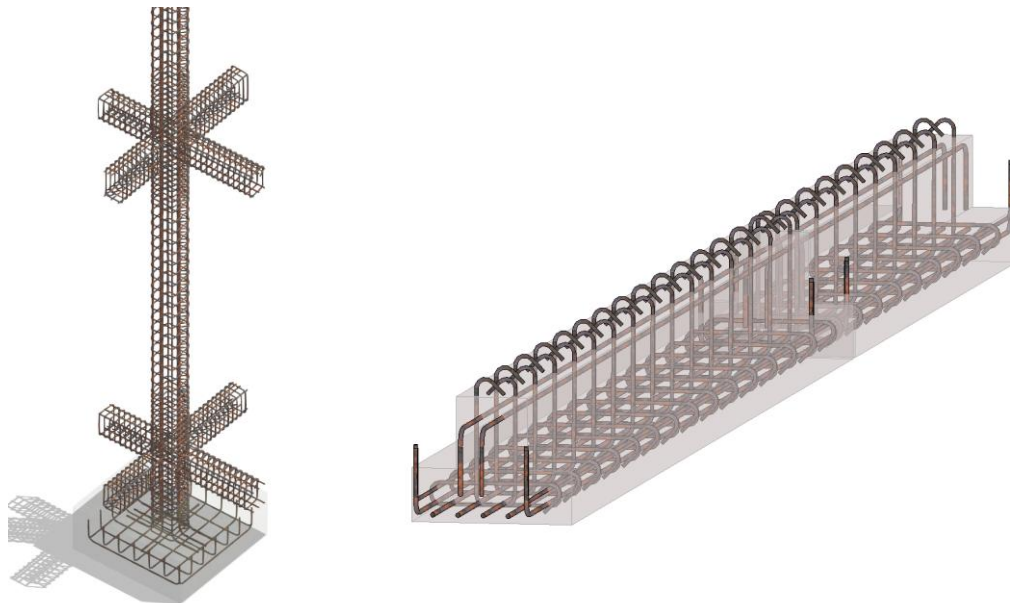
Para asegurar la objetividad y validez técnica del estudio, se adoptó una metodología de análisis comparativo basada en la evaluación de ambos sistemas constructivos bajo parámetros equivalentes de diseño, cargas y condiciones de emplazamiento. La

metodología aplicada se estructura en varias etapas secuenciales que permiten obtener resultados confiables y comparables.

En una primera etapa se realizó el análisis geométrico y funcional del proyecto referencial, identificando áreas, alturas, distribución de cargas y características arquitectónicas relevantes. Posteriormente, se llevó a cabo el predimensionamiento estructural para ambos sistemas constructivos, cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) y el PCI Design Handbook (PCI, 2004), (PCI Industry Handbook Committee, 2004) particularmente en lo referente a diseño sismorresistente y criterios de seguridad estructural.

A continuación, se desarrolló el modelado estructural mediante herramientas BIM, lo que permitió obtener cantidades de obra precisas y reducir errores de cuantificación. El uso de la metodología BIM facilita la integración de información geométrica, técnica y económica, optimizando el análisis de costos y tiempos de ejecución. Diversos estudios han demostrado que la implementación de BIM en proyectos de construcción mejora el control de costos, plazos y coordinación entre disciplinas (Mckinsey Global Institute, 2017).

*Ilustración 7: Modelado de acero de refuerzo en el sistema tradicional y prefabricado de hormigón armado*



*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, se efectuó el análisis comparativo de costos directos e indirectos, la evaluación de tiempos de ejecución mediante cronogramas y el análisis de sostenibilidad

e impacto ambiental, considerando criterios de consumo de recursos, generación de residuos y huella de carbono (International Energy Agency IEA, 2021).

## **2.4 Análisis del sistema constructivo tradicional**

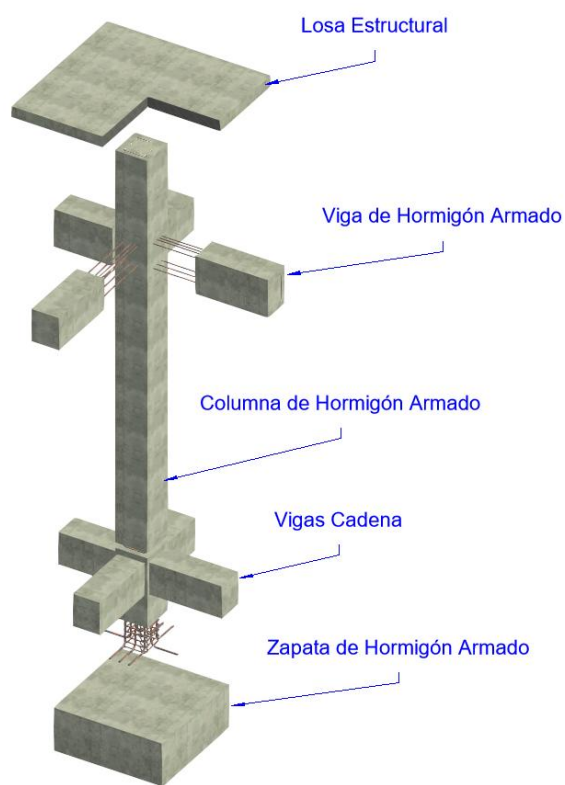
El sistema constructivo tradicional de hormigón armado colado in situ constituye el método más empleado en la edificación de viviendas unifamiliares en el Ecuador. Su amplia utilización se debe principalmente a la disponibilidad de materiales, a la experiencia acumulada por la mano de obra local y a la adaptación histórica de este sistema a las condiciones sísmicas del país, conforme a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Este sistema se caracteriza por la ejecución progresiva y secuencial de cada una de las etapas constructivas directamente en el sitio de la obra, lo que implica una alta dependencia del recurso humano, de la supervisión técnica constante y de las condiciones climáticas. Según (Gibb, 1999), los sistemas constructivos tradicionales presentan procesos secuenciales que limitan la productividad y aumentan la duración total de los proyectos. En ciudades como Cuenca, donde las precipitaciones son frecuentes durante gran parte del año, esta dependencia climática puede afectar de manera significativa el rendimiento y la planificación de los proyectos.

### **2.4.1 Proceso constructivo**

El proceso constructivo tradicional inicia con las actividades preliminares de replanteo y nivelación del terreno, seguidas de la excavación para la ejecución de las cimentaciones. Posteriormente, se construyen las zapatas aisladas y elementos de fundación conforme a los diseños estructurales aprobados. Una vez finalizada la etapa de cimentación, se procede a la ejecución de la superestructura mediante el armado de acero, encofrado y vaciado de columnas, vigas y losas macizas.

Ilustración 8: Elementos estructurales principales del método tradicional



Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estos elementos requiere el cumplimiento de tiempos mínimos de fraguado y curado del hormigón, lo que condiciona el avance de las siguientes actividades. Finalizada la estructura, se desarrollan los trabajos de mampostería, instalaciones eléctricas, sanitarias y acabados. La naturaleza secuencial de este sistema genera tiempos muertos inevitables que inciden directamente en la duración total del proyecto, limitando la optimización del cronograma (McKinsey Global Institute, 2017).

#### 2.4.2 Análisis de costos del sistema tradicional

Desde el punto de vista económico, el sistema tradicional presenta costos directos asociados principalmente al consumo de materiales como cemento, acero de refuerzo, agregados y madera para encofrados. Adicionalmente, la mano de obra representa un porcentaje significativo del presupuesto total, debido a la gran cantidad de jornadas necesarias para la ejecución de las distintas actividades constructivas.

En cuanto a los costos indirectos, estos incluyen gastos administrativos, supervisión técnica, alquiler de equipos, servicios provisionales y gestión de residuos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020) este sistema sigue siendo ampliamente utilizado debido a la facilidad de acceso a materiales y personal capacitado; sin embargo, los tiempos prolongados de ejecución generan incrementos en los costos indirectos, afectando el presupuesto final del proyecto.

Para la elaboración del presupuesto referencial del proyecto, es necesario en primera instancia identificar los rubros constructivos que formarán parte de la obra. Una vez definidos estos rubros, se procede a la cuantificación de las cantidades de obra correspondientes a cada actividad constructiva, proceso que constituye la base para la estimación de los costos del proyecto.

En el desarrollo de la presente tesis se propone la utilización de la metodología BIM como herramienta principal para la obtención de dichas cantidades. El modelado BIM permite generar mediciones de obra de manera automatizada, precisa y eficiente, reduciendo posibles errores asociados a los métodos tradicionales de cuantificación manual. Según (Rafael Sacks & Teicholz, 2018), BIM permite mejorar la precisión en la cuantificación de materiales y optimizar la planificación de proyectos constructivos.

A continuación, se presenta una planilla de cantidades de obra obtenida a partir del modelo BIM desarrollado en el software Revit, la cual se emplea como insumo para la elaboración del presupuesto dentro del sistema tradicional de hormigón armado.

*Ilustración 9: Planilla de mampostería proporcionada por el programa de modelado Revit*

<b>Mampostería</b>				
<b>Comentarios</b>	<b>Familia</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Área</b>
	Walls 3	Walls 3	0.00	0 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	3.24	9 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	2.56	3 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	1.36	1 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	14.40	32 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	2.55	7 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	2.60	8 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	18.90	42 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	18.30	48 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	6.70	19 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	15.40	40 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	15.70	41 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	19.75	20 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	4.00	4 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	32.40	87 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	4.15	10 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	4.25	5 m <sup>2</sup>
Mampostería	Muro básico	Muro - 150mm	5.36	6 m <sup>2</sup>
Total general: 55			171.61	380 m <sup>2</sup>

*Fuente: Elaboración propia*

Ilustración 10: Uso de planilla de mampostería en el programa Excel

18 Mampostería de bloque		TOTAL	380.00	m2
ID	Tipo	Longitud	Área	
Mampostería	Muro - 150mm	3.24	9	
Mampostería	Muro - 150mm	2.56	3	
Mampostería	Muro - 150mm	1.36	1	
Mampostería	Muro - 150mm	14.4	32	
Mampostería	Muro - 150mm	2.55	7	
Mampostería	Muro - 150mm	2.6	8	
Mampostería	Muro - 150mm	18.9	40	
Mampostería	Muro - 150mm	18.3	48	
Mampostería	Muro - 150mm	6.7	19	
Mampostería	Muro - 150mm	15.4	40	
Mampostería	Muro - 150mm	15.7	41	
Mampostería	Muro - 150mm	19.75	20	
Mampostería	Muro - 150mm	4	4	
Mampostería	Muro - 150mm	32.4	87	
Mampostería	Muro - 150mm	4.15	10	
Mampostería	Muro - 150mm	4.25	5	
Mampostería	Muro - 150mm	5.36	6	
		<b>TOTAL</b>	<b>380.00</b>	<b>m2</b>

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, a continuación se presentan planillas de cantidades generadas a partir del modelo BIM en el software Revit. Estas planillas corresponden a información que, mediante métodos tradicionales de cuantificación manual, resulta compleja y demandante en términos de tiempo y precisión.

Entre ellas se incluyen la planilla de cuantificación de hierro de refuerzo clasificada por tipo de elemento estructural, así como la planilla de resumen de volúmenes de hormigón desglosada según el tipo de elemento constructivo. La generación automática de estas tablas mediante el modelo BIM permite obtener información detallada y organizada, facilitando el proceso de cuantificación y contribuyendo a una mayor exactitud en la elaboración del presupuesto del proyecto.

Ilustración 11: Planilla de hierros proporcionada por el programa de modelado Revit

PLANILLA DE HIERROS COLUMNAS														
MARCA	DIAMETRO	LONGITUD	CANTIDAD	LONGITUD TOTAL	A	B	C	D	E	G	H	PESO ESPECIFICO (kg/m)	PESO TOTAL (kg)	FORMA
Mc051	16 mm	6.95 m	24	166.80 m	0 mm	<varia>	250 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	1.56	260.18	RS_01
Mc052	10 mm	<varia>	1297	1270.22 m	80 mm	220 mm	220 mm	<varia>	220 mm	80 mm	50 mm	0.62	783.73	M_T1
Mc053	16 mm	9.85 m	56	551.60 m	0 mm	9640 mm	250 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	1.56	860.41	RS_01
Mc057	10 mm	1.08 m	316	341.28 m	80 mm	270 mm	220 mm	270 mm	220 mm	80 mm	50 mm	0.62	210.57	M_T1
Mc058	10 mm	0.86 m	316	271.76 m	80 mm	270 mm	110 mm	270 mm	110 mm	80 mm	50 mm	0.62	167.68	M_T1
Mc059	14 mm	9.88 m	20	197.60 m	0 mm	9690 mm	230 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	1.21	238.96	RS_01
Grand total			2029	2799.26 m									2521.52	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12: Planilla de resumen de hormigón por elemento proporcionada por el programa de modelado Revit

<b>RESUMEN HORMIGÓN POR ELEMENTO</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>VOLUMEN</b>
C 30x30	7.19 m <sup>3</sup>
C 30x35	1.96 m <sup>3</sup>
LOSA e=5cm	4.40 m <sup>3</sup>
LOSA PC E=10mm	16.10 m <sup>3</sup>
V 25x30	10.77 m <sup>3</sup>
V 25x35	5.07 m <sup>3</sup>
Z1	4.80 m <sup>3</sup>
<b>Grand total: 131</b>	<b>50.30 m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

A partir de las planillas de cantidades de obra obtenidas del modelo BIM, el siguiente paso consistió en la elaboración del presupuesto referencial del proyecto. Para ello, se procedió a identificar y seleccionar análisis de precios unitarios (APU) correspondientes a cada rubro constructivo, tomando como referencia proyectos anteriores de edificaciones en hormigón armado con características constructivas similares al presente estudio.

Este procedimiento permitió establecer valores unitarios representativos para cada actividad, los cuales, al ser aplicados a las cantidades de obra previamente determinadas, posibilitan la estimación del costo total del proyecto.

A continuación, se presenta un ejemplo de análisis de precios unitarios (APU), en el cual se muestra el desglose de los costos por componentes principales, tales como equipo, mano de obra, materiales y transporte, elementos fundamentales para la determinación del costo unitario de cada rubro constructivo.

Ilustración 13: Registro de APU tipo, mampostería de bloque

**PERALTA CONSTRUCTORA**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 3 NIVELES DE HORMIGÓN ARMADO

NOMBRE DEL OFERENTE: John Fernando Peralta Zuñiga HOJA N°: 18  
 CODIGO N : TOTAL APUS: 18  
 RUBRO: Mampostería de bloque UNIDAD: m2  
 RENDIMIENTO: 0.500

ESPECIFICACION:

EQUIPO						
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL	Porcentaje
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	D / M
Herramienta Menor 5% de M.O.	1.00%		0.00	0.500	0.04	0.30%
					0.00	0.00%
SUB - TOTAL (M)					0.04	0.30%

MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL	Porcentaje
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	D / M
Albañil	1.00	4.39	4.39	0.500	2.20	16.58%
Peon	1.00	4.34	4.34	0.500	2.17	16.35%
					0.00	0.00%
SUB - TOTAL (N)					4.37	32.93%

MATERIALES						
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	Porcentaje	
		A	B	C = A x B	D / M	
Bloque aliviado de e=10 cm	u	13.000	0.55	7.15	53.88%	
Arena (P. Suelto=1,460 kg/m3 apr	m3	0.030	16.00	0.48	3.62%	
Agua	m3	0.030	0.60	0.02	0.15%	
Cemento Portland Tipo I	saco	0.150	8.09	1.21	9.12%	
SUB - TOTAL (O)					8.86	66.77%

TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL	Porcentaje
		A	B	C	D = A x B x C	D / M
SUB - TOTAL (P)					0.00	0.00%

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	13.27
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	20.00%
UTILIDAD	0.00%
PRECIO DE CALCULO	15.92
<b>PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$</b>	<b>15.92</b>

QUINCE CON 92/100 DOLARES  
 ESTE PRECIO NO INCLUYE I.V.A.

Fuente: Elaboración propia

Una vez consolidados los rubros constructivos considerados para el desarrollo del proyecto, se procedió a elaborar el resumen de análisis de precios unitarios (APU) por rubro constructivo. Este resumen permite realizar un análisis estructurado de los costos de acuerdo con las diferentes fases del proceso constructivo.

En este sentido, los rubros fueron organizados en etapas principales del proyecto, tales como obras preliminares, movimiento de tierras, encofrados, estructura y albañilería, lo que facilita una mejor comprensión de la distribución de los costos dentro del proceso de ejecución de la obra.

Como resultado de este proceso, se obtuvo un total de 18 análisis de precios unitarios, correspondientes a las distintas actividades necesarias para la construcción del proyecto bajo el sistema constructivo tradicional de hormigón armado, los cuales constituyen la base para la elaboración del presupuesto referencial del proyecto.

*Ilustración 14: Resumen consolidado del análisis de precios unitarios (APU) por rubros constructivos en el sistema tradicional*

Codigo	Descripcion	PU	Equipo	Mano de Obra	Materiales	Transporte	Indirecto	Utilidad	Sub total	
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>									
1	Replanteo, trazado y nivelacion con estacion total	0.96	m2	0.09	0.65	0.06	-	0.16	-	0.96
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>									
2	Excavacion con maquinaria	4.00	m3	0.30	3.03	-	-	0.67	-	4.00
3	Excavacion en general con herramienta manual	12.70	m3	1.02	9.56	-	-	2.12	-	12.70
4	Material de mejoramiento tendido y compactado	18.37	m3	2.33	0.79	12.19	-	3.06	-	18.37
<b>3.00</b>	<b>ENCOFRADO</b>									
5	Encofrado recto	10.12	m2	0.42	2.19	5.82	-	1.69	-	10.12
<b>4.00</b>	<b>ESTRUCTURA</b>									
<b>4.10</b>	<b>Hormigon</b>									
6	Hormigon ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigon	162.98	m3	14.95	58.74	62.13	-	27.16	-	162.98
7	Replanteo de hormigon simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	11.75	m2	2.50	2.57	4.72	-	1.96	-	11.75
8	Hormigon simple en zapatas f'cc=210kg/cm2 incl encofrado	246.71	m3	9.52	62.73	133.34	-	41.12	-	246.71
9	Contrapiso de hormigon simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	23.38	m2	3.13	6.09	10.26	-	3.90	-	23.38
10	Hormigon simple en columnas f'cc=210kg/cm2 Incl encofrado	254.63	m3	9.57	62.73	139.89	-	42.44	-	254.63
11	Hormigon en vigas f'cc=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	255.32	m3	17.16	81.04	114.57	-	42.55	-	255.32
12	Hormigon en losas f'cc=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	255.32	m2	17.16	81.04	114.57	-	42.55	-	255.32
<b>4.20</b>	<b>Acero de refuerzo</b>									
13	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	2.70	kg	0.26	0.57	1.42	-	0.45	-	2.70
14	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas	2.70	kg	0.26	0.57	1.42	-	0.45	-	2.70
<b>4.30</b>	<b>Estructura de acero</b>									
15	Malla electrosoldada R84	2.69	m2	0.02	0.43	1.79	-	0.45	-	2.69
16	Tubo metalico rectangular 80x40x3mm	2.56	m	0.31	0.14	1.68	-	0.43	-	2.56
17	Placa Colaborante	12.19	m2	0.06	1.10	9.00	-	2.03	-	12.19
<b>5.00</b>	<b>ALBAÑILERÍA</b>									
18	Mamposteria de bloque	15.92	m2	0.04	4.37	8.86	-	2.65	-	15.92

Fuente: Elaboración propia

A partir de los análisis de precios unitarios (APU) previamente establecidos y de las cantidades de obra obtenidas mediante el modelo BIM, se procede a la elaboración del presupuesto referencial del proyecto. Este proceso consiste en la multiplicación de los precios unitarios de cada rubro constructivo por las cantidades de obra correspondientes, lo que permite determinar el costo parcial de cada actividad.

La suma de estos costos parciales da como resultado el costo total estimado de ejecución del proyecto, constituyendo así el presupuesto referencial para la construcción del proyecto bajo el sistema constructivo tradicional de hormigón armado.

*Ilustración 15: Presupuesto referencial de obra para la construcción de vivienda unifamiliar de tres niveles en hormigón armado en el sistema tradicional*

<b>CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 3 NIVELES DE HORMIGÓN ARMADO</b>					
<b>RUBRO No.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI.</b>	<b>CANT.</b>	<b>P. UNIT</b>	<b>P. TOT</b>
1	Replanteo, trazado y nivelación con estación total	m2	88.09	0.96	84.56
2	Excavación con maquinaria	m3	25.98	4.00	103.92
3	Excavación en general con herramienta manual	m3	3.84	12.70	48.75
4	Material de mejoramiento tendido y compactado	m3	26.43	18.37	485.45
5	Encofrado recto	m2	65.45	10.12	662.35
6	Hormigón ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigón	m3	15.94	162.98	2,597.49
7	Replanteo de hormigón simple, $f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$ , $h = 5 \text{ cm}$ . para cimientos	m2	0.60	11.75	7.05
8	Hormigón simple en zapatas $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ incl encofrado	m3	4.80	246.71	1,184.21
9	Contrapiso de hormigón simple, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , $h = 10 \text{ cm}$ .	m2	8.81	23.38	205.95
10	Hormigón simple en columnas $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ incl encofrado	m3	9.82	254.63	2,499.80
11	Hormigón en vigas $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ h. premezclado (Inc. encofrado)	m3	17.76	255.32	4,534.55
12	Hormigón en losas $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ h. premezclado (Inc. encofrado)	m2	15.16	255.32	3,870.65
13	Acero de refuerzo, $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para zapatas y columnas	kg	2,695.12	2.70	7,276.82
14	Acero de refuerzo, $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para vigas	kg	3,114.35	2.70	8,408.75
15	Malla electrosoldada R84	m2	239.69	2.69	644.76
16	Tubo metálico rectangular 80x40x3mm	m	1,447.27	2.56	3,705.01
17	Placa Colaborante	m2	151.60	12.19	1,848.00
18	Mampostería de bloque	m2	380.00	15.92	6,049.60
				<b>TOTAL</b>	<b>44217.68</b>

*Fuente: Elaboración propia*

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de cuantificación de obra y del análisis de precios unitarios, se determinó que el presupuesto referencial para la construcción de una vivienda unifamiliar de tres niveles, utilizando el sistema constructivo tradicional de hormigón armado, asciende a un valor de **44 217.68 dólares**.

Con el propósito de analizar la composición del costo total del proyecto, se realizó el desglose de los costos en sus principales componentes: equipos, mano de obra, materiales y transporte de materiales. Este análisis permite identificar la participación económica de cada recurso dentro del presupuesto total, presentando tanto el valor monetario como el porcentaje de incidencia correspondiente a cada tipo de equipo, material y categoría de trabajador involucrado en el proceso constructivo.

Ilustración 16: Distribución de costos de equipos del proyecto en el sistema tradicional

<b>EQUIPO</b>		
	<b>3450.86</b>	<b>100%</b>
Herramienta Menor 5% de M.O.	1755.00	50.9%
SOLDADOA ELECTRICA	521.02	0.150982654
AMOLADORA	347.34	10.1%
Carretilla	327.93	9.5%
Concretera de 1 saco	297.92	8.6%
Parihuelas	124.36	3.6%
Retroexcavadora	47.43	1.4%
Rodillo vibratorio	21.93	0.6%
Estacion total y equipo de topog	7.93	0.2%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17: Distribución de costos de mano de obra del proyecto en el sistema tradicional

<b>MANO DE OBRA</b>		
	<b>10357.49</b>	<b>100%</b>
Peon	5539.68	53.48%
Albañil	2439.66	23.55%
Ferrero	2033.31	19.63%
Carpintero	115.19	1.11%
Soldador	101.31	0.98%
Operador de retroexcavadora	68.17	0.66%
Cadenero	48.45	0.47%
Topografo 2	8.81	0.09%
Op rodillo	2.91	0.03%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18: Distribución de costos de materiales del proyecto en el sistema tradicional

<b>MATERIALES</b>		
	<b>23417.92</b>	<b>100%</b>
Acero en varillas	7029.46	30.02%
Cemento Portland Tipo I	3913.17	16.71%
Bloque alivianado de e=10 cm	2717.00	11.60%
TUBO METALICO RECTANGULAR 80X40X3MM	2315.63	9.89%
Novalosa	1364.40	5.83%
Grava	1223.88	5.23%
Alambre amarre negro #18	1219.99	5.21%
Tablero de losa de 1.20x0.30m	740.71	3.16%
Tablero de columna sten de 2700	603.26	3%
Arena	558.33	2.38%
Malla electrosoldada R84	429.04	1.83%
Material de mejoramiento puesto	322.14	1.38%
Tabla de 5 baras	255.26	1.09%
Arena (P. Suelto=1,460 kg/m3 apr	182.4	1%
Puntal ulma de 2.10 hasta 3.65m	152.12	0.65%
Piedra	129.09	0.55%
SOLDADURA	115.78	0.49%
Liston de 5 baras	104.72	0.45%
Clavos en general	20.94	0.09%
Agua	15.32	0.07%
Clavos 2 1/2"	2.64	0.01%
Estacas de madera	1.76	0.01%
Pintura de marcar	0.88	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Distribución de costos de transporte materiales del proyecto en el sistema tradicional

<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>		
	<b>0.00</b>	<b>0%</b>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20: Resumen general del presupuesto del proyecto en el sistema tradicional

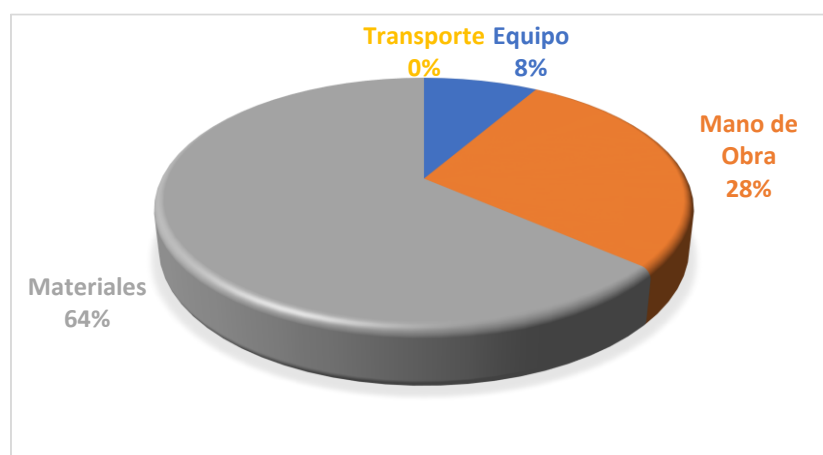
Equipo		3,068.84
Mano de Obra		10,357.49
Materiales		23,417.92
Transporte		0.00
<b>SUBTOTAL 1</b>		<b>36,844.25</b>
Indirecto		7,373.49
Utilidad		0.00
<b>SUBTOTAL 2</b>		<b>7,373.49</b>
<b>TOTAL</b>		<b>44,217.74</b>

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta un diagrama de distribución porcentual de los costos del proyecto correspondiente al sistema constructivo tradicional de hormigón armado. Este gráfico permite visualizar de manera más clara la participación relativa de cada componente dentro del costo total del proyecto.

En dicho diagrama se observa el impacto que tienen los distintos factores de costo, tales como materiales, mano de obra, equipos y transporte de materiales, permitiendo identificar cuáles de estos recursos representan la mayor incidencia económica dentro del presupuesto total de la obra. Este tipo de representación facilita la interpretación y el análisis de la estructura de costos del proyecto.

Ilustración 21: Distribución porcentual de los costos del Proyecto en el sistema tradicional



Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de analizar la composición del costo total del proyecto, se realizó el desglose de los costos en sus principales componentes: equipos, mano de obra, materiales y transporte de materiales. Este análisis permite identificar la participación económica de cada recurso dentro del presupuesto total, presentando tanto el valor monetario como el porcentaje de incidencia correspondiente a cada tipo de equipo, material y categoría de trabajador involucrado en el proceso constructivo. Este tipo de análisis es fundamental para la evaluación de la eficiencia económica en proyectos de construcción (Mckinsey Global Institute, 2017).

### **2.4.3 Tiempos de ejecución**

El tiempo de ejecución de una vivienda unifamiliar de tres niveles mediante sistema tradicional suele oscilar entre cuatro y cinco meses, dependiendo de factores como la disponibilidad de recursos, la eficiencia de la mano de obra y las condiciones climáticas (Chudley & Greeno, 2006). La imposibilidad de ejecutar actividades de manera simultánea y la dependencia de los tiempos de curado del hormigón limitan la optimización del cronograma (Koskela, 2000); (Project Management Institute Global Standard, 2021).

En relación con la estimación del tiempo de ejecución del proyecto, se utilizaron los análisis de precios unitarios (APU) correspondientes a cada rubro constructivo, en los cuales se encuentran definidos los rendimientos de trabajo para cada actividad. A partir de esta información, se elaboró una tabla de cálculo en la cual, considerando los rendimientos establecidos y una cuadrilla promedio de aproximadamente cinco obreros, se determinó la duración estimada de las diferentes actividades del proyecto.

Con base en este análisis, se obtuvo que el tiempo total estimado de ejecución para el proyecto es de 99,67 días, correspondiente al proceso constructivo de la vivienda unifamiliar de tres niveles bajo el sistema tradicional de hormigón armado.

Ilustración 22: Determinación de tiempos de ejecución por actividad según rendimientos del sistema tradicional

Descripción	U	Cantidad	P. U.	P. T.	Rendimiento	Tiempo h	Tiempo días	Obreros #	FACTOR	Obreros #	Rendimiento	Tiempo
											nto	días
<b>Total</b>				<b>44,217.68</b>			<b>144.77</b>	<b>5.24</b>		<b>3.82</b>		<b>99.67</b>
1 Replanteo, trazado y nivelación con estación total	m2	88.09	0.96	84.56	0.0833	7.34	0.92	1.8	2.00	3.5	0.1666	0.46
2 Excavación con maquinaria	m3	25.98	4.00	103.92	0.5000	12.99	1.62	1.3	1.00	1.3	0.5000	1.62
3 Excavación en general con herramienta manual	m3	3.84	12.70	48.75	0.5000	1.92	0.24	4.4	1.00	4.4	0.5000	0.24
4 Material de mejoramiento tendido y compactado	m3	26.43	18.37	485.45	0.0500	1.32	0.17	3.5	1.00	3.5	0.0500	0.17
5 Encofrado recto	m2	65.45	10.12	662.35	0.2000	13.09	1.64	2.5	0.90	2.3	0.1800	1.82
6 Hormigón ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigón	m3	15.94	162.98	2,597.49	1.5000	23.91	2.99	9.0	1.00	9.0	1.5000	2.99
7 Replanteo de hormigón simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	m2	0.60	11.75	7.05	0.1000	0.06	0.01	5.9	0.80	4.7	0.0800	0.01
8 Hormigón simple en zapatas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	4.80	246.71	1,184.21	1.0000	4.80	0.60	14.4	0.35	5.0	0.3500	1.71
9 Contrapiso de hormigón simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	m2	8.81	23.38	205.95	0.2000	1.76	0.22	7.0	0.30	2.1	0.0600	0.73
10 Hormigón simple en columnas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	9.82	254.63	2,499.80	1.2000	11.78	1.47	12.0	0.42	5.0	0.4980	3.55
11 Hormigón en vigas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m3	17.76	255.32	4,534.55	1.5500	27.53	3.44	12.0	0.35	4.2	0.5425	9.83
12 Hormigón en losas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m2	15.16	255.32	3,870.65	1.5500	23.50	2.94	12.0	1.00	12.0	1.5500	2.94
13 Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	kg	2,695.12	2.70	7,276.82	0.0500	134.76	16.84	2.6	1.15	3.0	0.0575	14.65
14 Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas	kg	3,114.35	2.70	8,408.75	0.0500	155.72	19.46	2.6	1.15	3.0	0.0575	16.93
15 Malla electrosoldada R84	m2	239.69	2.69	644.76	0.1000	23.97	3.00	1.0	2.00	2.0	0.2000	1.50
16 Tubo metálico rectangular 80x40x3mm	m	1,447.27	2.56	3,705.01	0.1000	144.73	18.09	0.3	5.00	1.5	0.5000	3.62
17 Placa Colaborante	m2	151.60	12.19	1,848.00	2.5000	379.00	47.38	0.1	4.50	0.5	11.2500	10.53
18 Mampostería de bloque	m2	380.00	15.92	6,049.60	0.5000	190.00	23.75	2.0	0.90	1.8	0.4500	26.39

Fuente: Elaboración propia

Con base en el tiempo de ejecución previamente determinado, se procedió a elaborar el cronograma valorado del proyecto mediante el uso del software Microsoft Project. En este cronograma se estableció una jornada laboral de lunes a viernes, en un horario de 07:00 a 17:00, considerando una hora destinada al almuerzo, lo cual permitió definir de manera más realista la planificación de las actividades constructivas.

Como resultado de esta programación, se obtuvo una duración total del proyecto de **20 semanas**, dentro de las cuales se distribuyeron las diferentes actividades de acuerdo con su secuencia constructiva y sus respectivas duraciones. Asimismo, el cronograma valorado permitió determinar el valor económico ejecutado por semana, así como el porcentaje de participación semanal respecto al costo total del proyecto, información fundamental para el análisis del flujo de inversión durante el proceso constructivo.

Ilustración 23: Cronograma valorado del proyecto por semanas del sistema tradicional

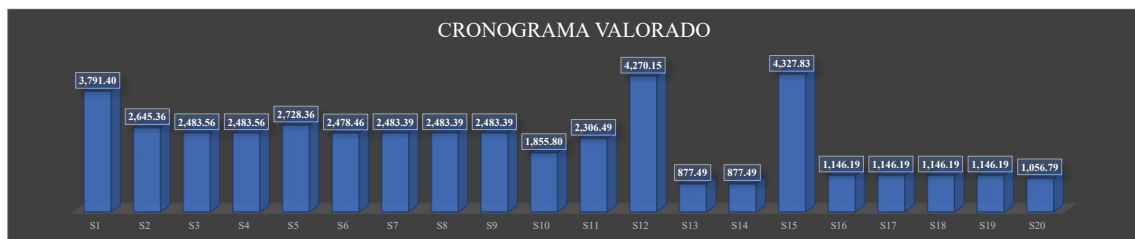
Numero de ítem	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	Total
Monto Parcial	3,791.40	2,645.36	2,483.56	2,483.56	2,728.36	2,478.46	2,483.39	2,483.39	2,483.39	1,855.80	2,306.49	4,270.15	877.49	877.49	4,327.83	1,146.19	1,146.19	1,146.19	1,146.19	1,056.79	44,217.67
% Avance Parcial	8.57%	5.98%	5.62%	5.62%	6.17%	5.61%	5.62%	5.62%	5.62%	4.30%	5.22%	9.66%	1.98%	1.98%	9.79%	2.59%	2.59%	2.59%	2.59%	2.39%	
Monto Acumulado	3,791.40	6,436.76	8,920.32	11,403.88	14,132.24	16,610.70	19,094.09	21,577.48	24,060.87	25,916.67	28,223.16	32,493.31	33,370.80	34,248.29	38,576.12	39,722.31	40,868.50	42,014.69	43,160.88	44,217.67	
% Avance Acumulado	8.57%	14.56%	20.17%	25.79%	31.96%	37.57%	43.18%	48.80%	54.41%	58.61%	63.83%	73.49%	75.47%	77.45%	87.24%	89.83%	92.43%	95.02%	97.61%	100.00%	
Replanteo, trazado y nivelación con estación total	84.56																				84.56
Excavación con maquinaria	103.92																				103.92
Excavación en general con herramienta manual	48.75																				48.75
Material de mejoramiento tendido y compactado	485.45																				485.45
Encofrado recto	662.35																				662.35
Hormigón ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigón	2,406.37	191.12																			2,597.49
Replanteo de hormigón simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	7.05																				7.05
Hormigón simple en zapatas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	1,184.21																				1,184.21
Contrapiso de hormigón simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	205.95																				205.95
Hormigón simple en columnas f'c=210kg/cm2 incl encofrado				830.92	1,668.88																2,499.80
Hormigón en vigas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)									1,706.80	2,306.49	521.27										4,534.55
Hormigón en losas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)															3,870.65						3,870.65
Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	412.27	2,483.56	2,483.56	1,897.44																	7,276.82
Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas					809.58	2,483.39	2,483.39	2,483.39	149.00												8,408.75
Malla electrosoldada R84	644.76														3,705.01						644.76
Tubo metálico rectangular 80x40x3mm															43.87	877.49	877.49	49.14			3,705.01
Placa Colaborante																					1,847.99
Mampostería de bloque															408.04	1,146.19	1,146.19	1,146.19	1,146.19	1,056.79	6,049.59

Fuente: Elaboración propia

A partir del cronograma valorado del proyecto, se elaboró el histograma de inversión semanal, el cual representa la distribución del gasto del proyecto en función del tiempo. Este gráfico permite visualizar el monto de inversión requerido en cada semana de ejecución, de acuerdo con la programación de las actividades constructivas.

El histograma facilita la comprensión del comportamiento del flujo de inversión a lo largo del desarrollo del proyecto, permitiendo identificar los periodos de mayor y menor demanda de recursos económicos, lo cual resulta fundamental para la planificación financiera y el control de la ejecución de la obra.

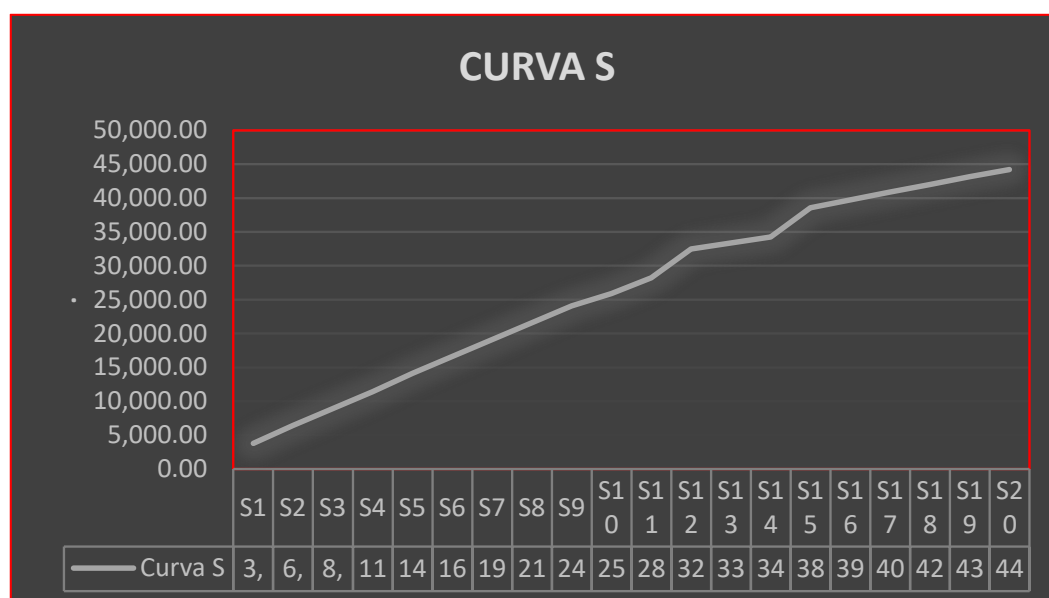
*Ilustración 24: Histograma de inversión semanal del proyecto*



*Fuente: Elaboración propia*

En esta curva S se muestra el comportamiento del crecimiento acumulado a lo largo de los diferentes periodos analizados. Se puede observar que, al inicio, el incremento es relativamente lento, lo cual es característico de las primeras etapas de un proceso donde la actividad o productividad todavía se está consolidando. Posteriormente, la curva presenta una fase de crecimiento más pronunciado, indicando un aumento en el ritmo de avance o producción durante la etapa intermedia. Finalmente, hacia los últimos periodos, la pendiente de la curva tiende a disminuir, lo que refleja una desaceleración del crecimiento y una tendencia a la estabilización. En conjunto, esta forma característica permite identificar las fases de inicio, desarrollo y cierre del proceso evaluado, evidenciando la evolución progresiva del avance acumulado (Project Management Institute Global Standard, 2021); (Kerzner, 2009).

Ilustración 25: Curva S de inversión acumulada del proyecto



Fuente: Elaboración propia

En síntesis, a partir del modelado BIM se obtuvieron de manera automatizada y precisa las cantidades de obra del proyecto, las cuales sirvieron como base para la elaboración de los análisis de precios unitarios (APU) de los diferentes rubros constructivos. Con estos valores y las cantidades previamente determinadas se procedió a calcular el presupuesto referencial del proyecto, así como a analizar la distribución de los costos en sus principales componentes: equipos, mano de obra, materiales y transporte. Posteriormente, utilizando los rendimientos establecidos en los APU, se estimó el tiempo de ejecución del proyecto, lo que permitió desarrollar el cronograma valorado, el histograma de inversión semanal y la curva S mediante herramientas de planificación. De esta manera, se obtuvo una visión integral tanto del costo total del proyecto como de su planificación temporal, permitiendo evaluar de forma más clara el comportamiento económico y operativo de la construcción de la vivienda bajo el sistema tradicional de hormigón armado (Rafael Sacks & Teicholz, 2018).

#### 2.4.4 Impacto ambiental

Desde el enfoque ambiental, el sistema tradicional presenta un impacto considerable, debido al elevado consumo de agua durante las etapas de mezclado, curado y limpieza, así como a la generación de residuos sólidos provenientes de encofrados, excedentes de hormigón y desperdicios de materiales. La literatura técnica indica que la construcción

convencional presenta altos niveles de consumo energético y generación de emisiones asociadas a los materiales y al transporte (International Energy Agency IEA, 2021).

## **2.5 Análisis del sistema constructivo prefabricado**

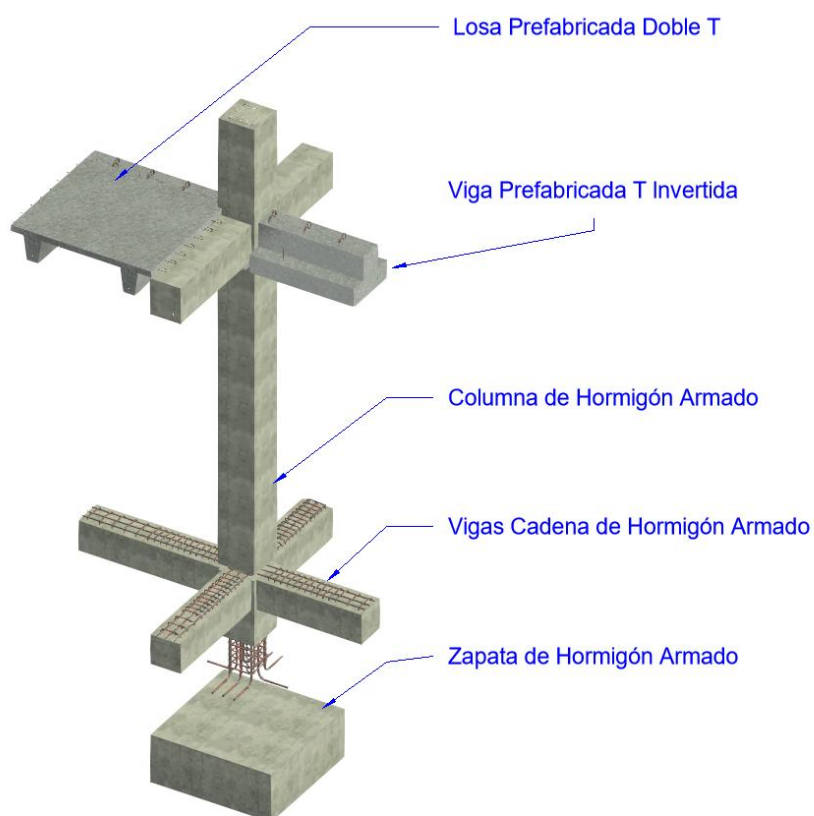
El sistema constructivo prefabricado se basa en la producción industrial de elementos estructurales bajo condiciones controladas de planta, los cuales son posteriormente transportados y ensamblados en el sitio de la obra. Este enfoque industrializado permite optimizar recursos, reducir tiempos de ejecución y mejorar el control de calidad. La integración de este sistema con metodologías digitales como BIM ha demostrado mejorar la eficiencia constructiva y reducir desperdicios de materiales.

### **2.5.1 Proceso constructivo prefabricado**

El proceso constructivo prefabricado inicia con una etapa de diseño detallado, en la cual los elementos estructurales son modelados mediante herramientas BIM, considerando tolerancias, uniones y secuencias de montaje. Posteriormente, los elementos son fabricados en planta, donde se garantiza un control riguroso de calidad en materiales y procesos (PCI Industry Handbook Committee, 2004); (Gibb, 1999).

Una vez fabricados, los elementos son transportados a la obra y montados mediante el uso de grúas y equipos especializados. Este procedimiento reduce significativamente las actividades ejecutadas en sitio y minimiza la influencia de las condiciones climáticas en el avance del proyecto (Mckinsey Global Institute, 2017).

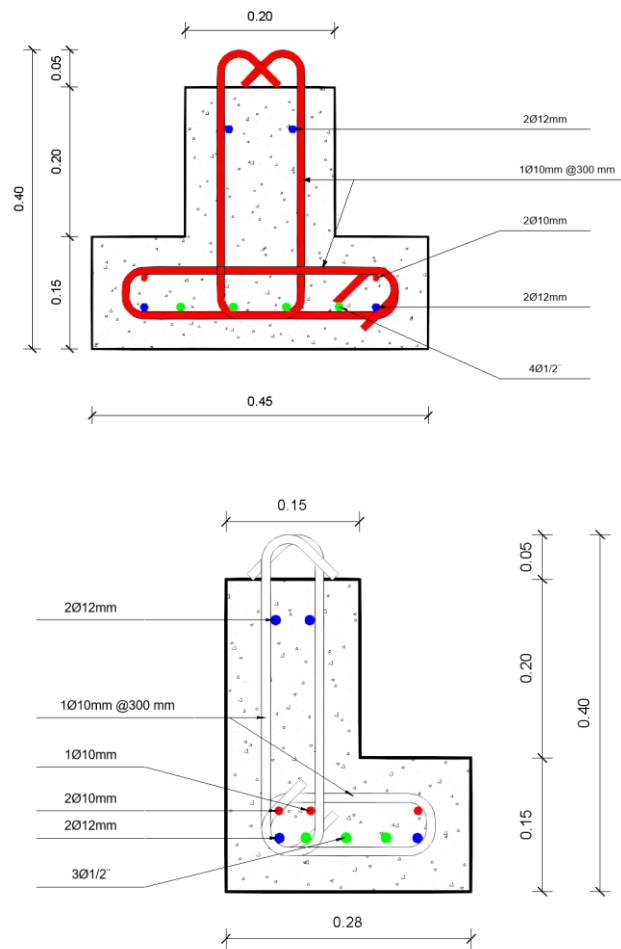
Ilustración 26: Elementos estructurales principales del método prefabricado



Fuente: Elaboración propia

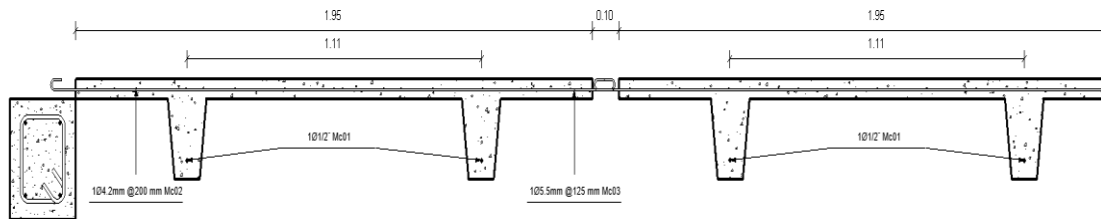
Para el sistema constructivo prefabricado se emplearon elementos estructurales industrializados, tales como vigas tipo T invertida y tipo L, así como losas tipo doble T. Estos componentes fueron sometidos a un proceso de predimensionamiento estructural, con el objetivo de determinar sus propiedades geométricas, cuantías de refuerzo y configuración de cables de pretensado. Todo ello se desarrolló bajo las mismas condiciones de carga consideradas para los elementos correspondientes del sistema constructivo tradicional, garantizando así la comparabilidad técnica entre ambos métodos.

Ilustración 27: Vigas T invertida y L prefabricadas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28: Losas doble T prefabricadas



Fuente: Elaboración propia

## 2.5.2 Análisis de costos del sistema prefabricado

Si bien el costo inicial de los elementos prefabricados puede ser superior al del hormigón colado in situ, este incremento se ve compensado por la reducción sustancial de la mano de obra en obra, la disminución de desperdicios y la optimización de los tiempos de

ejecución. El (Mckinsey Global Institute, 2017), señala que la implementación de sistemas industrializados puede reducir los costos totales de los proyectos residenciales hasta en un 20%.

A continuación, se presenta una planilla de cómputo métrico generada a partir del modelo BIM desarrollado en Revit, herramienta que permitió la extracción precisa y automatizada de cantidades de obra. En dicha planilla se detalla un elemento estructural correspondiente a una viga prefabricada tipo T de 4,25 m de longitud, incluyendo sus principales parámetros geométricos y volumétricos.

*Ilustración 29: Planilla de cantidades Viga T invertida prefabricada obtenida en Revit*

<b>HIERROS - VIGA T 4.25m</b>				
<b>Partición</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud de barra</b>	<b>Volumen de refuerzo</b>
Viga T_4.25m	4	1/2"	4.78 m	2422.06 cm <sup>3</sup>
Viga T_4.25m	15	10mm	0.98 m	1154.54 cm <sup>3</sup>
Viga T_4.25m	2	10mm	5.05 m	793.25 cm <sup>3</sup>
Viga T_4.25m	15	10mm	0.95 m	1119.19 cm <sup>3</sup>
Viga T_4.25m	2	12mm	5.10 m	1153.59 cm <sup>3</sup>
Viga T_4.25m	2	12mm	5.10 m	1153.59 cm <sup>3</sup>
<b>Total general: 6</b>			<b>21.97 m</b>	<b>7796.23 cm<sup>3</sup></b>

*Fuente: Elaboración propia*

La información obtenida constituye una base técnica confiable para la cuantificación de materiales y recursos asociados al elemento estructural, reduciendo márgenes de error propios de métodos tradicionales de medición. Además, el uso del entorno BIM facilita la trazabilidad y coherencia de los datos a lo largo de todo el proceso de diseño y planificación constructiva.

A partir de estos datos, se procedió a la elaboración del Análisis de Precios Unitarios (APU), en el cual se desglosan los costos directos e indirectos vinculados a la ejecución de la viga, tales como materiales, mano de obra, equipos y transporte. Este análisis permitió determinar un costo unitario representativo, el cual fue incorporado en la estimación del presupuesto referencial del sistema constructivo prefabricado.

Ilustración 30: Registro de APU viga T invertida método prefabricado

PERALTA CONSTRUCTORA						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
NOMBRE DEL PROYECTO:		CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 3 NIVELES EN PREFABRICADO				
NOMBRE DEL OFERENTE:	John Fernando Peralta Zuñiga	HOJA N°:	16			
CODIGO N :		TOTAL APUS:	27			
RUBRO:	Viga T Invertida VTinv425	UNIDAD:	u			
ESPECIFICACION:		RENDIMIENTO:	0.350			
EQUIPO						
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL	Porcentaje
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	D / M
Hormigonera	1.00	12.00	12.00	0.41	4.86	1.44%
Vibrador	1.00	3.00	3.00	0.54	1.62	0.48%
Moldes de encofrado	3.00	40.00	120.00	0.07	8.64	2.56%
Puente grúa	1.00	10.00	10.00	0.54	5.40	1.60%
Herramienta Menor	1.00	2.00	2.00	1.13	2.25	0.67%
Grúa en obra	1.00	90.00	90.00	0.14	12.15	3.60%
Gato hidráulico pretensado	1.00	10.00	10.00	0.53	5.30	1.57%
Cunas pretensado	3.00	2.00	6.00	0.93	5.57	1.65%
SUB - TOTAL (M)					45.79	13.55%
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL	Porcentaje
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	D / M
Supervisor de fabrica	1	9	9.00	1.35	12.15	3.60%
Operadores de maquina	2	7.2	14.40	0.90	12.96	3.84%
Jefe de obreros	1	5.8	5.80	2.03	11.75	3.48%
Albanil	2	4.8	9.60	2.34	22.46	6.65%
Ayudante	2	3.8	7.60	2.25	17.10	5.06%
Peon	2	3	6.00	2.25	13.50	4.00%
SUB - TOTAL (N)					89.92	26.61%
MATERIALES						
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	Porcentaje	
		A	B	C = A x B	D / M	
Hierro Fy 4200 kg/cm2	kg	42.59	2.00	85.18	25.21%	
Cemento	kg	202.50	0.18	36.45	10.79%	
Arena	m3	0.27	20.00	5.40	1.60%	
Ripio 3/4	m3	0.50	19.00	9.41	2.79%	
Aditivo Superplastificante	lt	0.45	8.00	3.60	1.07%	
Agua	lt	81.00	0.01	0.81	0.24%	
Desencofrante	lt	1.35	1.00	1.35	0.40%	
Anclajes e isadores	u	1.00	4.50	4.50	1.33%	
Acero tpu 19000 kg/m2	kg	14.59	3.00	43.76	12.95%	
SUB - TOTAL (O)					190.46	56.37%
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL	Porcentaje
		A	B	C	D = A x B x C	D / M
Transporte	u	1	20	0.585	11.70	3.46%
SUB - TOTAL (P)					11.70	3.46%
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					337.87	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					20.00%	67.57
UTILIDAD					0.00%	0.00
PRECIO DE CALCULO					405.44	
CUATROCIENTOS CINCO CON 44/100 DOLARES ESTE PRECIO NO INCLUYE I.V.A.					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$	405.44

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, la integración entre el modelado BIM y los procesos de planificación económica aporta mayor precisión, eficiencia y confiabilidad en la evaluación financiera del proyecto, constituyéndose en una herramienta clave para la toma de decisiones en la comparación entre sistemas constructivos (Rafael Sacks & Teicholz, 2018).

Ilustración 31: Resumen consolidado del análisis de precios unitarios (APU) por rubros constructivos en el sistema prefabricado

Codigo	Descripcion	PU	Equipo	Mano de Obra	Materiales	Transporte	Indirecto	Utilidad	Sub total	
<b>1.00 OBRAS PRELIMINARES</b>										
1	Replanteo, trazado y nivelacion con estacion total	0.96	m2	0.09	0.65	0.06	-	0.16	-	0.96
<b>2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>										
2	Excavacion con maquinaria	4.00	m3	0.30	3.03	-	-	0.67	-	4.00
3	Excavacion en general con herramienta manual	12.70	m3	1.02	9.56	-	-	2.12	-	12.70
4	Material de mejoramiento tendido y compactado	18.37	m3	2.33	0.79	12.19	-	3.06	-	18.37
<b>3.00 ENCOFRADO</b>										
5	Encofrado recto	10.12	m2	0.42	2.19	5.82	-	1.69	-	10.12
<b>4.00 ESTRUCTURA</b>										
<b>4.10 Hormigon</b>										
6	Hormigon ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigon	162.98	m3	14.95	58.74	62.13	-	27.16	-	162.98
7	Replanteo de hormigon simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	11.75	m2	2.50	2.57	4.72	-	1.96	-	11.75
8	Hormigon simple en zapatas f <sup>cm</sup> =210kg/cm2 incl encofrado	246.71	m3	9.52	62.73	133.34	-	41.12	-	246.71
9	Contrapiso de hormigon simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	23.38	m2	3.13	6.09	10.26	-	3.90	-	23.38
10	Hormigon simple en columnas f <sup>cm</sup> =210kg/cm2 incl encofrado	254.63	m3	9.57	62.73	139.89	-	42.44	-	254.63
11	Hormigon en vigas f <sup>cm</sup> =210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	255.32	m3	17.16	81.04	114.57	-	42.55	-	255.32
12	Hormigon en losas f <sup>cm</sup> =210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	255.32	m2	17.16	81.04	114.57	-	42.55	-	255.32
<b>4.20 Acero de refuerzo</b>										
13	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	2.70	kg	0.26	0.57	1.42	-	0.45	-	2.70
14	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas	2.70	kg	0.26	0.57	1.42	-	0.45	-	2.70
<b>4.30 VIGAS PREFABRICADAS</b>										
15	Viga T Invertida VTinv270	241.66	u	27.09	51.96	115.57	6.76	40.28	-	241.66
16	Viga T Invertida VTinv425	405.44	u	45.79	89.92	190.46	11.70	67.57	-	405.44
17	Viga L VL270	278.05	u	93.02	35.97	98.04	4.68	46.34	-	278.05
18	Viga L VL425	315.62	u	42.10	63.62	150.02	7.28	52.60	-	315.62
19	Viga Amarre long 4.35 m	247.64	u	24.17	54.33	120.80	7.07	41.27	-	247.64
<b>5.00 LOSAS PREFABRICADAS</b>										
20	Losa Doble T Pretensada DT1.16x3.15	198.58	u	29.64	65.93	61.33	8.58	33.10	-	198.58
21	Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.03	342.67	u	50.93	117.89	101.40	15.34	57.11	-	342.67
22	Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.23	357.46	u	53.14	122.89	105.86	15.99	59.58	-	357.46
23	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.03	395.48	u	58.69	137.87	115.07	17.94	65.91	-	395.48
24	Losa Doble T Pretensada DT1.95x3.15	331.70	u	56.26	110.78	91.44	17.94	55.28	-	331.70
25	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.23	412.90	u	61.28	143.87	120.21	18.72	68.82	-	412.90
26	Losa Doble T Pretensada DT2.45x1.45	147.32	u	25.72	36.74	51.73	8.58	24.55	-	147.32
<b>6.00 Mampostería</b>										
27	Tabiquería de Gypsun dos caras	13.67	ml	0.22	4.45	6.72	-	2.28	-	13.67

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el presupuesto referencial correspondiente al sistema constructivo prefabricado, elaborado a partir de la integración de los cálculos métricos obtenidos del modelo BIM desarrollado en Revit y los análisis de precios unitarios (APU) previamente determinados.

Este presupuesto consolida los costos directos asociados a la ejecución de los elementos estructurales prefabricados, incluyendo materiales, mano de obra especializada, equipos y procesos de fabricación, transporte e instalación en obra. Asimismo, se consideran los costos indirectos necesarios para la correcta ejecución del sistema, garantizando una estimación económica integral.

Ilustración 32: Presupuesto referencial de obra para la construcción de vivienda unifamiliar de tres niveles en hormigón armado en el sistema prefabricado

## CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 3 NIVELES EN PREFABRICADO

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNL.	CANT.	P. UNIT	P. TOT
1	Replanteo, trazado y nivelacion con estacion total	m2	88.09	0.96	84.56
2	Excavacion con maquinaria	m3	25.98	4.00	103.92
3	Excavacion en general con herramienta manual	m3	3.84	12.70	48.75
4	Material de mejoramiento tendido y compactado	m3	26.43	18.37	485.45
5	Encofrado recto	m2	65.45	10.12	662.35
6	Hormigon ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigon	m3	15.94	162.98	2,597.49
7	Replantillo de hormigon simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	m2	0.60	11.75	7.05
8	Hormigón simple en zapatas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	4.80	246.71	1,184.21
9	Contrapiso de hormigon simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	m2	8.81	23.38	205.95
10	Hormigón simple en columnas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	9.82	254.63	2,499.80
11	Hormigón en vigas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m3	7.40	255.32	1,888.09
12	Hormigón en losas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m2	16.90	255.32	4,314.91
13	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	kg	2,695.12	2.70	7,276.82
14	Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas	kg	1,290.68	2.70	3,484.84
15	Viga T Invertida VTinv270	u	4.00	241.66	966.64
16	Viga T Invertida VTinv425	u	4.00	405.44	1,621.76
17	Viga L VL270	u	4.00	278.05	1,112.20
18	Viga L VL425	u	4.00	315.62	1,262.48
19	Viga Amarre long 4.35 m	u	16.00	247.64	3,962.24
20	Losa Doble T Pretensada DT1.16x3.15	u	4.00	198.58	794.32
21	Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.03	u	4.00	342.67	1,370.68
22	Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.23	u	4.00	357.46	1,429.84
23	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.03	u	2.00	395.48	790.96
24	Losa Doble T Pretensada DT1.95x3.15	u	2.00	331.70	663.40
25	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.23	u	2.00	412.90	825.80
26	Losa Doble T Pretensada DT2.45x1.45	u	2.00	147.32	294.64
27	Tabiqueria de Gypsun dos caras	ml	380.00	13.67	5,194.60
				<b>TOTAL</b>	<b>45133.76</b>

Fuente: Elaboración propia

La estructuración del presupuesto permite visualizar de manera clara la distribución de los costos por rubros, facilitando el análisis comparativo con el sistema constructivo tradicional. De esta forma, se establece una base técnica y económica sólida para la evaluación de la eficiencia del sistema prefabricado dentro del proyecto, como se puede observar el valor del presupuesto referencial para el sistema prefabricado corresponde a **45 133.7 dólares**.

A continuación, se presenta el desglose del presupuesto referencial del sistema constructivo prefabricado, en el cual se distribuyen los costos en equipos, mano de obra, materiales y transporte, cada uno con su respectivo valor, permitiendo identificar la incidencia de cada rubro dentro del costo total y facilitando el análisis comparativo con el sistema tradicional en términos de eficiencia económica y asignación de recursos.

Ilustración 33: Distribución de costos de equipos del proyecto en el sistema prefabricado

<b>EQUIPO</b>		
	<b>4204.71</b>	<b>100%</b>
Herramienta Menor 5% de M.O.	1338.71	31.8%
Moldes de encofrado	637.28	15.2%
Grua en obra	575.38	13.7%
Carretilla	277.81	6.6%
Concreteira de 1 saco	254.45	6.1%
Puente grua	248.32	5.9%
Hormigonera	237.36	5.6%
Cunas pretensado	141.86	3.4%
Gato hidraulico pretensado	136.34	3.2%
Parihuelas	104.27	2.5%
Herramienta Menor	98.30	2.3%
Vibrador	77.34	1.8%
Retroexcavadora	47.43	1.1%
Rodillo vibratorio	21.93	0.5%
Estacion total y equipo de topog	7.93	0.2%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34: Distribución de costos de mano de obra del proyecto en el sistema prefabricado

<b>MANO DE OBRA</b>		
	<b>12097.48</b>	<b>100%</b>
Peon	4649.64	38.43%
Albañil	1620.12	13.39%
Ferrero	1395.03	11.53%
Albanil	984.16	8.14%
Ayudante	747.44	6.18%
Operadores de maquina	563.58	4.66%
Supervisor de fabrica	527.50	4.36%
Jefe de obreros	507.68	4.20%
Maestro de obra	440.80	3.64%
Pintor	418.00	3.46%
Carpintero	115.19	0.95%
Operador de retroexcavadora	68.17	0.56%
Cadenero	48.45	0.40%
Topografo 2	8.81	0.07%
Op rodillo	2.91	0.02%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35: Distribución de costos de materiales del proyecto en el sistema prefabricado

<b>MATERIALES</b>		
	<b>20782.50</b>	<b>100%</b>
Acero en varillas	4822.82	23.21%
Cemento Portland Tipo I	2950.96	14.20%
Hierro Fy 4200 kg/cm2	2159.16	10.39%
Plancha Gypsumboard Yeso Carton regular 4'x8'x1/2".	2082.40	10.02%
Cemento	1614.64	7.77%
Acero fpu 19000 kg/m2	1112.5	5.35%
Grava	1043.62	5.02%
Alambre amarre negro #18	837.02	4.03%
Arena	712.02	3.43%
Tablero de columna sten de 2700	603.26	2.90%
Tablero de losa de 1.20x0.30m	546.64	2.63%
Aditec Empaste Interior	471.20	2.27%
Ripio 3/4	408.30	1.96%
Material de mejoramiento puesto	322.14	1.55%
Tabla de 5 baras	255.26	1.23%
Anclajes e isadores	194.40	0.94%
Aditivo Superplastificante	159.00	0.77%
Piedra	129.09	0.62%
Puntal ulma de 2.10 hasta 3.65m	124.52	0.60%
Liston de 5 baras	104.72	0.50%
Desencofrante	60.18	0.29%
Agua	42.43	0.20%
Clavos en general	20.94	0.10%
Clavos 2 1/2"	2.64	0.01%
Estacas de madera	1.76	0.01%
Pintura de marcar	0.88	0.00%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36: Distribución de costos de transporte de materiales del proyecto en el sistema prefabricado

<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>		
	<b>520.77</b>	<b>100%</b>
Transporte	520.77	100.0%

Fuente: Elaboración propia

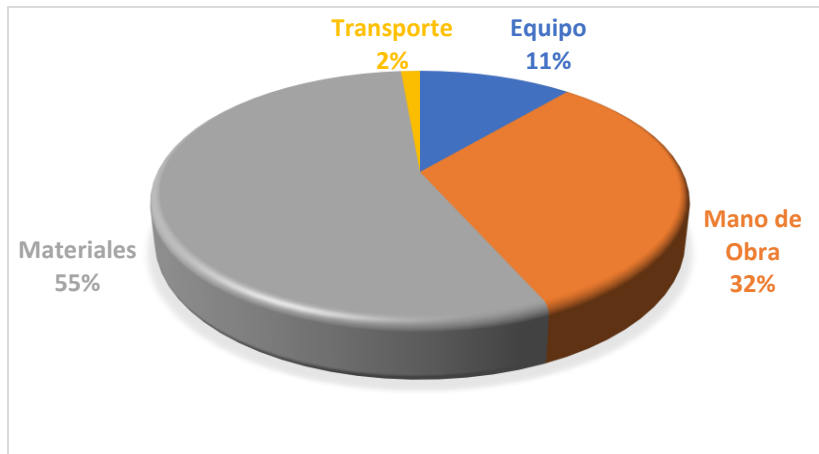
Ilustración 37: Resumen general del presupuesto del proyecto en el sistema prefabricado

Equipo	4,204.71
Mano de Obra	12,097.48
Materiales	20,782.50
Transporte	520.77
<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>37,605.46</b>
Indirecto	7,523.06
Utilidad	0.00
<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>7,523.06</b>
<b>TOTAL</b>	<b>45,128.52</b>

Fuente: Elaboración propia

Por último, se presenta la ilustración tipo pastel del presupuesto referencial del sistema constructivo prefabricado, en la cual se representa la distribución porcentual de los distintos rubros que lo componen, tales como equipos, mano de obra, materiales y transporte, permitiendo visualizar de manera clara la participación relativa de cada componente dentro del costo total y facilitando el análisis de la estructura económica del proyecto.

*Ilustración 38: Distribución porcentual de los costos del Proyecto en el sistema prefabricado*



*Fuente: Elaboración propia*

### **2.5.3 Tiempos de ejecución**

Uno de los principales beneficios del sistema prefabricado es la reducción de los plazos de ejecución. Para una vivienda unifamiliar de tres niveles, el tiempo total de obra puede disminuir entre un 40% y 60% en comparación con el sistema tradicional, al permitir la ejecución paralela de actividades y eliminar los tiempos asociados al curado del hormigón (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020). Esta mejora en los tiempos se encuentra directamente relacionada con el incremento de la productividad en procesos industrializados, tal como lo evidencian estudios comparativos entre sistemas tradicionales y prefabricados.

De igual manera que en el sistema constructivo tradicional, los tiempos de ejecución para el método prefabricado fueron determinados a partir del análisis de rendimientos de los distintos rubros que componen el proceso constructivo. Con base en estos parámetros productivos, se estableció una duración total de 48,66 días para la ejecución del sistema prefabricado, evidenciando la incidencia de la industrialización en la optimización de los plazos de obra (Lawson, 2014).

Ilustración 39: Determinación de tiempos de ejecución por actividad según rendimientos del sistema tradicional

Descripción	U	Cantidad	P. U.	P. T.	Rendimiento	Tiempo	Tiempo	Obreros	FACTOR	Obreros	Rendimiento	Tiempo	
					h	días	#		#		días		
<b>Total</b>								<b>3.44</b>		<b>2.54</b>		<b>48.66</b>	
1	Replanteo, trazado y nivelación con estación total	m2	88.09	0.96	84.56	0.0833	7.34	0.92	1.8	1.00	1.8	0.0833	0.92
2	Excavación con maquinaria	m3	25.98	4.00	103.92	0.5000	12.99	1.62	1.3	1.00	1.3	0.5000	1.62
3	Excavación en general con herramienta manual	m3	3.84	12.70	48.75	0.5000	1.92	0.24	4.4	1.00	4.4	0.5000	0.24
4	Material de mejoramiento tendido y compactado	m3	26.43	18.37	485.45	0.0500	1.32	0.17	3.5	1.00	3.5	0.0500	0.17
5	Encofrado recto	m2	65.45	10.12	662.35	0.2000	13.09	1.64	2.5	1.00	2.5	0.2000	1.64
6	Hormigón ciclopeo 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigón	m3	15.94	162.98	2,597.49	1.5000	23.91	2.99	9.0	1.00	9.0	1.5000	2.99
7	Replanteo de hormigón simple, f'c = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos	m2	0.60	11.75	7.05	0.1000	0.06	0.01	5.9	1.00	5.9	0.1000	0.01
8	Hormigón simple en zapatas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	4.80	246.71	1,184.21	1.0000	4.80	0.60	14.4	0.35	5.0	0.3500	1.71
9	Contrapiso de hormigón simple, f'c = 210 kg/cm2, h = 10 cm.	m2	8.81	23.38	205.95	0.2000	1.76	0.22	7.0	0.30	2.1	0.0600	0.73
10	Hormigón simple en columnas f'c=210kg/cm2 incl encofrado	m3	9.82	254.63	2,499.80	1.2000	11.78	1.47	12.0	0.42	5.0	0.4980	3.55
11	Hormigón en vigas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m3	7.40	255.32	1,888.09	1.5500	11.46	1.43	12.0	0.35	4.2	0.5425	4.09
12	Hormigón en losas f'c=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)	m2	16.90	255.32	4,314.91	1.5500	26.20	3.27	12.0	0.50	6.0	0.7750	6.55
13	Acero de refuerzo, f'c = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas	kg	2,695.12	2.70	7,276.82	0.0500	134.76	16.84	2.6	2.00	5.2	0.1000	8.42
14	Acero de refuerzo, f'c = 4200 kg/cm2 para vigas	kg	1,290.68	2.70	3,484.84	0.0500	64.53	8.07	2.6	2.00	5.2	0.1000	4.03
15	Viga T Invertida VTinv270	u	4.00	241.66	966.64	0.3500	1.40	0.18	0.0	1.00	0.0	0.3500	0.18
16	Viga T Invertida VTinv425	u	4.00	405.44	1,621.76	0.3500	1.40	0.18	0.0	1.00	0.0	0.3500	0.18
17	Viga L VL270	u	4.00	278.05	1,112.20	0.3500	1.40	0.18	0.0	1.00	0.0	0.3500	0.18
18	Viga L VL425	u	4.00	315.62	1,262.48	0.3500	1.40	0.18	0.0	1.00	0.0	0.3500	0.18
19	Viga Amarre long 4.35 m	u	16.00	247.64	3,962.24	0.3500	5.60	0.70	0.0	1.00	0.0	0.3500	0.70
20	Losa Doble T Pretensada DT1.16x3.15	u	4.00	198.58	794.32	1.8600	7.44	0.93	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.93
21	Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.03	u	4.00	342.67	1,370.68	1.8600	7.44	0.93	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.93
22	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.23	u	4.00	357.46	1,429.84	1.8600	7.44	0.93	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.93
23	Losa Doble T Pretensada DT2.45x1.45	u	2.00	395.48	790.96	1.8600	3.72	0.47	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.47
24	Losa Doble T Pretensada DT1.95x3.15	u	2.00	331.70	663.40	1.8600	3.72	0.47	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.47
25	Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.23	0.00	2.00	412.90	825.80	1.8600	3.72	0.47	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.47
26	Losa Doble T Pretensada DT2.45x1.45	0.00	2.00	147.32	294.64	1.8600	3.72	0.47	0.0	1.00	0.0	1.8600	0.47
27	Tabiquería de Gypsum dos caras	ml	380.00	13.67	5,194.60	0.5000	190.00	23.75	2.0	4.00	8.0	2.0000	5.94

Fuente: Elaboración propia

A partir de la determinación de los tiempos de ejecución, se elaboró el cronograma valorado con una planificación semanal de las actividades, en el cual se distribuyen los costos en función del avance físico de obra. Como resultado de esta programación, se obtuvo una duración total de **10 semanas** para la ejecución del sistema constructivo prefabricado, permitiendo una mejor visualización del flujo de inversión y el control del progreso del proyecto. (Project Management Institute Global Standard, 2021).

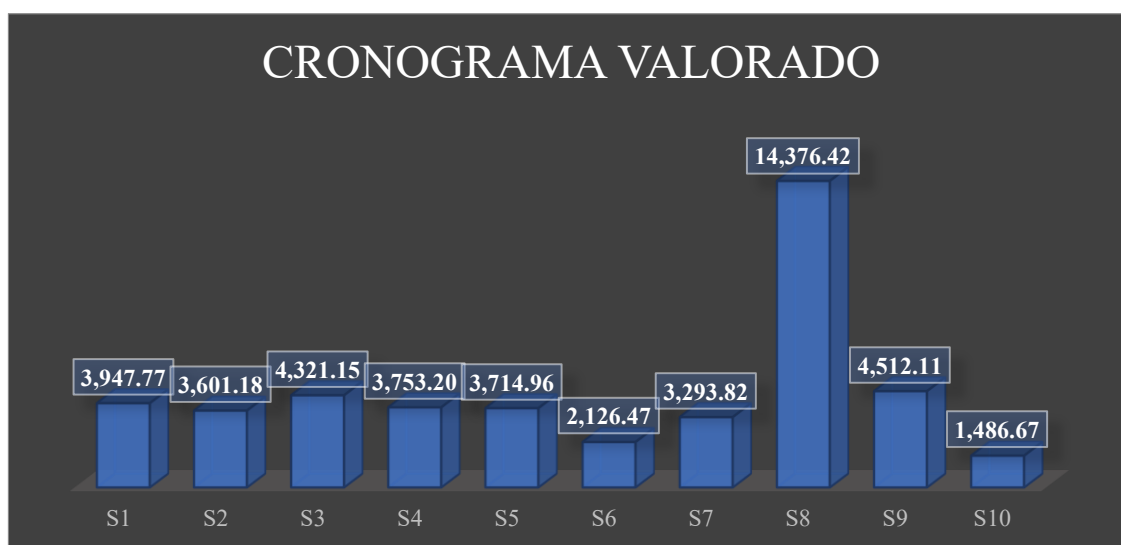
Ilustración 40: Cronograma valorado del proyecto por semanas del sistema prefabricado

Nombre de tarea	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Total
<b>Monto Parcial</b>	<b>3,947.77</b>	<b>3,601.18</b>	<b>4,321.15</b>	<b>3,753.20</b>	<b>3,714.96</b>	<b>2,126.47</b>	<b>3,293.82</b>	<b>14,376.42</b>	<b>4,512.11</b>	<b>1,486.67</b>	<b>45,133.75</b>
<b>% Avance Parcial</b>	<b>8.75%</b>	<b>7.98%</b>	<b>9.57%</b>	<b>8.32%</b>	<b>8.23%</b>	<b>4.71%</b>	<b>7.30%</b>	<b>31.85%</b>	<b>10.00%</b>	<b>3.29%</b>	
<b>Monto Acumulado</b>	<b>3,947.77</b>	<b>7,548.95</b>	<b>11,870.10</b>	<b>15,623.30</b>	<b>19,338.26</b>	<b>21,464.73</b>	<b>24,758.55</b>	<b>39,134.97</b>	<b>43,647.08</b>	<b>45,133.75</b>	
<b>% Avance Acumulado</b>	<b>8.75%</b>	<b>16.73%</b>	<b>26.30%</b>	<b>34.62%</b>	<b>42.85%</b>	<b>47.56%</b>	<b>54.86%</b>	<b>86.71%</b>	<b>96.71%</b>	<b>100.00%</b>	
1.1.1 Replanteo, trazado y nivelacion con estacion total	84.56										84.56
1.1.2 Excavacion con maquinaria	103.92										103.92
1.1.3 Excavacion en general con herramienta manual	48.75										48.75
1.1.4 Material de mejoramiento tendido y compactado	485.45										485.45
1.1.5 Encofrado recto	662.35										662.35
1.1.6 Hormigon ciclooso 1:2:3; 40% piedra, 60% hormigon	2,562.74	34.75									2,597.49
1.1.7 Replantillo de hormigon simple, fc = 180 kg/cm2, h = 5 cm. para cimientos		7.05									7.05
1.1.8 Hormigon simple en zapatas f'cc=210kg/cm2 incl encofrado		1,184.21									1,184.21
1.1.9 Contrapiso de hormigon simple, fc = 210 kg/cm2, h = 10 cm.		205.95									205.95
1.1.10 Hormigon simple en columnas f'cc=210kg/cm2 incl encofrado				2,499.80							2,499.80
1.1.11 Hormigon en vigas f'cc=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)					697.07	1,191.02					1,888.09
1.1.12 Hormigon en losas f'cc=210 kg/cm2 h. premezclado (Inc. encofrado)						935.45	3,293.82	85.64			4,314.91
1.1.13 Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para zapatas y columnas		2,169.22	4,321.15	786.45							7,276.82
1.1.14 Acero de refuerzo, fc = 4200 kg/cm2 para vigas				466.95	3,017.89						3,484.84
1.1.15 Viga T Invertida V1in270								966.64			966.64
1.1.16 Viga T Invertida V1in425								1,621.76			1,621.76
1.1.17 Viga L VL270								1,112.20			1,112.20
1.1.18 Viga L VL425								1,262.48			1,262.48
1.1.19 Viga Amarre long 4.35 m								3,962.24			3,962.24
1.1.20 Losa Doble T Pretensada DT1.16x3.15								794.32			794.32
1.1.21 Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.03								1,370.68			1,370.68
1.1.22 Losa Doble T Pretensada DT1.95x4.23								1,429.84			1,429.84
1.1.23 Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.03								790.96			790.96
1.1.24 Losa Doble T Pretensada DT1.95x3.15								663.40			663.40
1.1.25 Losa Doble T Pretensada DT2.45x4.23								316.26	509.54		825.80
1.1.26 Losa Doble T Pretensada DT2.45x1.45									294.64		294.64
1.1.27 Tabiqueria de Gypsun dos caras									3,707.93	1,486.67	5,194.60

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el histograma de inversión semanal del proyecto, en el cual se visualiza la distribución del flujo económico en función del avance de obra, permitiendo identificar las variaciones en la asignación de recursos a lo largo del tiempo y facilitando el control financiero y la planificación de desembolsos durante la ejecución del sistema constructivo prefabricado. (Kerzner, 2009).

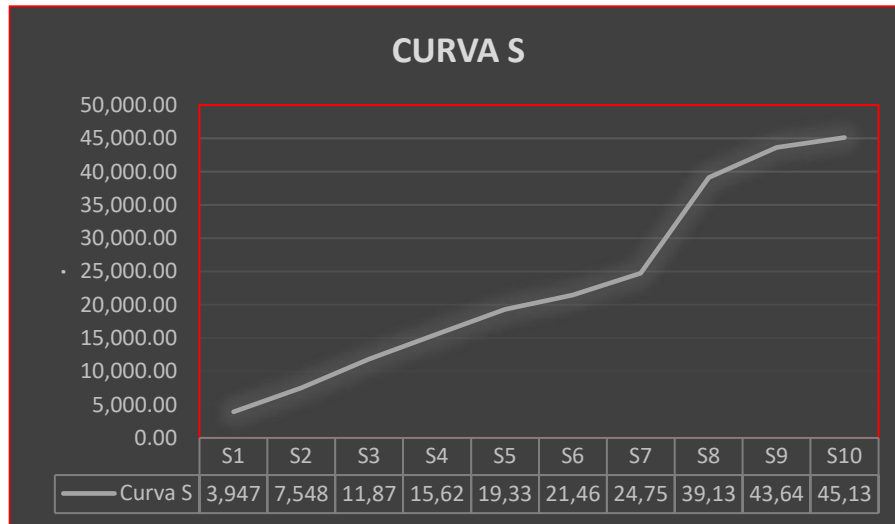
Ilustración 41: Histograma de inversión semanal del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta la curva S de inversión acumulada del proyecto, la cual refleja el comportamiento progresivo del gasto en función del tiempo, permitiendo analizar la relación entre el avance físico y financiero de la obra. Esta herramienta facilita el control y seguimiento del proyecto, evidenciando las fases de arranque, desarrollo y culminación, así como posibles desviaciones respecto a la planificación establecida. (Project Management Institute Global Standard, 2021); (Kerzner, 2009).

*Ilustración 42: Curva S de inversión acumulada del proyecto*



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.5.4 Impacto ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la prefabricación permite una gestión más eficiente de materiales, menor generación de residuos y reducción significativa del consumo de agua en obra. Estudios de la Agencia Internacional de Energía evidencian que los sistemas industrializados contribuyen a la reducción de la huella de carbono y promueven prácticas constructivas más sostenibles (International Energy Agency IEA, 2021); (UNEP, 2025).

Finalmente, es importante señalar que el sistema constructivo prefabricado representa una alternativa potencialmente más sostenible desde el punto de vista ambiental en comparación con el sistema tradicional de hormigón armado colado in situ. Esto se debe a que los elementos prefabricados son producidos en plantas industriales bajo condiciones controladas, lo que permite optimizar el uso de materiales, reducir desperdicios y mejorar el control de los procesos productivos (Gibb, 1999).

Además, este tipo de sistema constructivo facilita una gestión más eficiente de los recursos y de los residuos de construcción, disminuyendo el impacto ambiental asociado a las actividades realizadas directamente en obra (Lawson, 2014). En contraste, el sistema tradicional colado in situ suele generar mayores niveles de desperdicio de materiales, consumo de recursos y emisiones asociadas al proceso constructivo, lo que incrementa su huella ambiental (International Energy Agency IEA, 2021).

Por estas razones, el empleo de sistemas prefabricados puede considerarse una solución constructiva más sostenible, especialmente en proyectos donde se busca mejorar la eficiencia constructiva y reducir los impactos ambientales del proceso de edificación (UNEP, 2025).

## **2.6 Comparación detallada de resultados entre el sistema tradicional y el sistema prefabricado**

El análisis comparativo entre el sistema constructivo tradicional y el sistema prefabricado aplicado a una vivienda unifamiliar de tres niveles permite evaluar de manera integral el desempeño de cada alternativa desde una perspectiva técnica, económica, temporal y ambiental. Para garantizar la objetividad del estudio, ambos sistemas fueron analizados considerando la misma geometría arquitectónica, iguales cargas de diseño, condiciones de emplazamiento similares y el cumplimiento de la normativa estructural ecuatoriana vigente, particularmente la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Este enfoque comparativo permite identificar no solo las ventajas cuantitativas de cada sistema, sino también sus implicaciones cualitativas dentro del proceso constructivo, lo cual resulta fundamental para una correcta toma de decisiones en proyectos de vivienda de mediana escala. (Rafael Sacks & Teicholz, 2018).

El sistema prefabricado permite mejorar la eficiencia global del proyecto debido a la estandarización de procesos y a la reducción de variabilidad en obra. Diversas investigaciones han demostrado que los sistemas industrializados presentan mayores niveles de productividad y control en comparación con los métodos tradicionales.

### **2.6.1 Comparación de costos directos**

Los costos directos corresponden a aquellos asociados de forma inmediata a la ejecución de la obra, tales como materiales, mano de obra directa, transporte de materiales y equipos

empleados. En el sistema tradicional, estos costos están principalmente determinados por el consumo de cemento, acero de refuerzo, agregados, madera para encofrados y una elevada participación de mano de obra. La necesidad de ejecutar actividades como armado, encofrado, vaciado y desencofrado de manera repetitiva incrementa el número de jornadas laborales requeridas.

En contraste, el sistema prefabricado concentra sus costos directos en la fabricación industrial de los elementos estructurales, el transporte especializado y el montaje mediante maquinaria. Si bien el costo unitario de los elementos prefabricados suele ser mayor, la reducción significativa de mano de obra en obra y la eliminación de actividades auxiliares permiten optimizar el uso de recursos. En términos generales, el sistema tradicional presenta menores costos iniciales de materiales, mientras que el sistema prefabricado reduce pérdidas y desperdicios, logrando un balance económico favorable cuando se analiza el proyecto de manera integral.

### **2.6.2 Comparación de costos indirectos**

Los costos indirectos incluyen gastos administrativos, supervisión técnica, alquiler de equipos, seguridad, servicios provisionales y gestión de residuos. En este aspecto, el sistema tradicional presenta una desventaja considerable debido a la mayor duración del proyecto. El tiempo prolongado de ejecución implica mayores costos asociados a administración de obra y supervisión técnica durante un período extendido.

Por su parte, el sistema prefabricado reduce significativamente los costos indirectos al disminuir los plazos de ejecución. La menor duración del proyecto se traduce en una reducción de gastos generales y una gestión de residuos más eficiente, ya que gran parte de los desperdicios se controlan en planta. Esta característica convierte al sistema prefabricado en una alternativa económicamente más eficiente a nivel global. (Mckinsey Global Institute, 2017).

### **2.6.3 Comparación de tiempos de ejecución**

El tiempo de ejecución constituye uno de los factores más determinantes dentro del análisis de eficiencia constructiva. Para una vivienda unifamiliar de tres niveles, el sistema tradicional presenta una duración estimada de 5 meses, dependiendo de la disponibilidad de recursos y las condiciones climáticas.

La ejecución secuencial de actividades y los tiempos de fraguado y curado del hormigón limitan la posibilidad de optimizar el cronograma. En el sistema prefabricado, en cambio, la fabricación de elementos en planta puede realizarse de manera paralela a los trabajos preliminares en obra, lo que permite reducir el tiempo total de ejecución entre un 40% y 60%, tal como lo indica la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020).

#### **2.6.4 Comparación del impacto ambiental**

Desde el punto de vista ambiental, el sistema tradicional genera un impacto significativo debido al alto consumo de agua, la producción de residuos sólidos y las emisiones asociadas al transporte constante de materiales. Estos factores incrementan la huella de carbono del proyecto.

El sistema prefabricado permite optimizar el uso de materiales, reducir desperdicios y disminuir el consumo de agua en obra. La producción industrial bajo condiciones controladas facilita una mejor gestión ambiental y contribuye a la reducción de emisiones contaminantes, alineándose con los principios de la construcción sostenible (International Energy Agency IEA, 2021); (UNEP, 2025).

Asimismo, la fabricación de los elementos en plantas industriales bajo condiciones controladas favorece una gestión más eficiente de los materiales, del consumo energético y de los residuos, lo que contribuye a disminuir la huella ambiental del proyecto. Por estas razones, el sistema prefabricado se consolida como una alternativa constructiva más sostenible, alineada con los principios actuales de eficiencia y reducción del impacto ambiental en el sector de la construcción.

#### **2.6.5 Comparación del desempeño constructivo y calidad**

En términos de calidad constructiva, el sistema tradicional depende en gran medida de la experiencia de la mano de obra y del control ejercido en obra, lo que puede generar variabilidad en los resultados finales. En contraste, el sistema prefabricado ofrece una mayor uniformidad y control de calidad al fabricarse en planta, reduciendo la probabilidad de errores constructivos y mejorando el desempeño estructural. (PCI Industry Handbook Committee, 2004); (Gibb, 1999).

El control dimensional en planta permite tolerancias más precisas que reducen patologías constructivas posteriores.

## **2.7 Discusión técnica ampliada**

La discusión técnica de los resultados permite interpretar los datos obtenidos desde una perspectiva integral, considerando tanto los aspectos cuantitativos como los factores contextuales que influyen en la eficiencia de cada sistema constructivo. (Lawson, 2014).

### **2.7.1 Influencia de la logística y el transporte**

Uno de los aspectos críticos del sistema prefabricado es la logística de transporte de los elementos estructurales desde la planta hasta el sitio de la obra. La eficiencia del sistema depende en gran medida de la distancia entre ambos puntos y de la disponibilidad de vías adecuadas. En contextos urbanos como Cuenca, la limitada presencia de plantas de prefabricación puede incrementar los costos de transporte.

No obstante, cuando la planificación logística es adecuada, estos costos se ven compensados por la reducción de tiempos y mano de obra en obra. En el sistema tradicional, aunque el transporte se realiza con cargas menores, la alta frecuencia de viajes incrementa el impacto ambiental y los costos acumulados.

### **2.7.2 Análisis del ciclo de vida de la edificación**

El análisis del ciclo de vida de la edificación permite evaluar el desempeño del proyecto desde la extracción de materiales hasta su operación y mantenimiento. El sistema prefabricado presenta ventajas importantes debido a la durabilidad y precisión de sus elementos, lo que reduce la necesidad de mantenimiento correctivo a largo plazo. (International Energy Agency IEA, 2021).

Por su parte, el sistema tradicional, aunque ampliamente probado, puede presentar mayores requerimientos de mantenimiento debido a fisuras, asentamientos diferenciales y variabilidad en la ejecución.

### **2.7.3 Flexibilidad arquitectónica y adaptabilidad**

El sistema tradicional ofrece una mayor flexibilidad para realizar modificaciones durante la ejecución de la obra, lo cual resulta ventajoso en proyectos con cambios frecuentes. Sin embargo, esta flexibilidad suele traducirse en incrementos de costos y tiempos.

El sistema prefabricado requiere una planificación detallada desde las etapas iniciales del proyecto, limitando las modificaciones en obra, pero garantizando una mayor eficiencia global y control del proceso constructivo. (Rafael Sacks & Teicholz, 2018).

## 2.7.4 Viabilidad técnica en el contexto ecuatoriano

La viabilidad del sistema prefabricado en el Ecuador depende de factores como la capacitación de la mano de obra, la disponibilidad de normativa específica y la aceptación cultural del sistema. Aunque el sistema tradicional continúa siendo predominante, la creciente necesidad de eficiencia, sostenibilidad y control de calidad abre un escenario favorable para la adopción progresiva de sistemas industrializados. (Mckinsey Global Institute, 2017).

## 2.8 Tablas comparativas de resultados

Con el objetivo de sintetizar los resultados obtenidos del análisis comparativo, se presentan tablas que permiten visualizar de manera clara las diferencias más relevantes entre ambos sistemas en términos de costos, tiempos y sostenibilidad.

*Tabla 1: Comparación general de costos*

<b>CRITERIO</b>	<b>SISTEMA TRADICIONAL</b>	<b>SISTEMA PREFABRICADO</b>
Costo de materiales para elementos estructurales	Medio	Alto (fabricación en planta)
Mano de obra	Media	Alta
Costos indirectos	Medios	Medios
Control presupuestario	Variable	Alto

*Tabla 2: Comparación de tiempos de ejecución*

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>SISTEMA TRADICIONAL</b>	<b>SISTEMA PREFABRICADO</b>
Estructura	Lenta (secuencial)	Rápida (ensamblaje)
Dependencia climática	Alta	Baja
Duración total estimada	5 meses	2-3 meses

Tabla 3: Comparación ambiental

<b>ASPECTO</b>	<b>SISTEMA TRADICIONAL</b>	<b>SISTEMA PREFABRICADO</b>
Consumo de agua	Alto	Bajo
Generación de residuos	Alta	Baja
Huella de carbono	Elevada	Reducida
Sostenibilidad global	Media	Alta

Estas tablas evidencian de forma resumida que el sistema prefabricado presenta ventajas claras en tiempos de ejecución y sostenibilidad, mientras que el sistema tradicional mantiene ventajas asociadas a flexibilidad y costos iniciales.

## **2.9 Análisis integrado y criterio personal**

Desde mi perspectiva personal, la eficiencia constructiva no debe evaluarse únicamente bajo un criterio económico inmediato, sino considerando el desempeño integral del proyecto durante todo su ciclo de vida. En este sentido, el sistema prefabricado demuestra una mayor eficiencia global al reducir tiempos, mejorar el control de calidad y disminuir el impacto ambiental. (Gibb, 1999); (International Energy Agency IEA, 2021).

No obstante, el sistema tradicional continúa siendo una alternativa válida en contextos donde la logística, la disponibilidad de plantas prefabricadas o el presupuesto inicial limitan la implementación de sistemas industrializados. La selección del sistema constructivo adecuado dependerá del análisis específico de cada proyecto, del entorno urbano y de los objetivos del promotor.

## **2.10 Conclusiones del capítulo**

El presente capítulo evidencia que la prefabricación constituye una alternativa técnicamente viable y eficiente para la construcción de viviendas unifamiliares de tres niveles en contextos urbanos como la ciudad de Cuenca. Sin embargo, la elección del sistema constructivo debe considerar factores como la disponibilidad de plantas, la logística de transporte, la normativa vigente y la experiencia profesional.

Así mismo, a partir del análisis comparativo realizado entre el sistema tradicional de hormigón armado colado in situ y el sistema constructivo prefabricado, se determinó que

el sistema prefabricado presenta ventajas significativas en términos de tiempo de ejecución, debido a que gran parte de los elementos estructurales son fabricados previamente en planta y posteriormente ensamblados en obra, lo que permite acelerar el proceso constructivo.

Asimismo, el análisis del presupuesto referencial evidencia que los costos entre ambos sistemas constructivos son similares, lo que demuestra que el sistema prefabricado no solo permite optimizar los tiempos de construcción, sino que también constituye una alternativa viable desde el punto de vista económico para el desarrollo de proyectos de edificación.

## **3. Capítulo 3**

### **DESARROLLO DEL MODELO COMPARATIVO Y RESULTADOS**

#### **3.1 Introducción del capítulo**

El presente capítulo tiene como finalidad desarrollar el análisis cuantitativo comparativo entre el sistema constructivo tradicional de hormigón armado colado in situ y el sistema prefabricado, aplicado a la vivienda unifamiliar de tres niveles previamente definida. En contraste con el Capítulo II, en el cual se abordó el análisis conceptual y técnico de ambos sistemas constructivos, en esta sección se materializa la investigación mediante la aplicación práctica de los criterios evaluados, permitiendo obtener resultados medibles y verificables.

El enfoque adoptado se basa en la integración de herramientas tecnológicas y criterios de ingeniería, particularmente mediante la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM), la cual permite generar modelos digitales precisos del proyecto. Esta metodología facilita la obtención de cantidades exactas de obra, la simulación de procesos constructivos y la estimación confiable de recursos, lo cual resulta fundamental para la elaboración de presupuestos detallados y cronogramas de ejecución. (Mckinsey Global Institute, 2017).

Asimismo, el análisis se estructura en función de variables clave dentro del proceso constructivo, tales como costos de materiales, mano de obra, equipos, transporte y costos indirectos. Estas variables permiten evaluar la eficiencia económica de cada sistema constructivo. Paralelamente, se analiza el tiempo de ejecución mediante la elaboración de cronogramas, lo que permite identificar diferencias significativas en la duración de los procesos constructivos.

De igual manera, se incorpora un análisis comparativo integral de resultados, en el cual se presentan tablas y cuadros que sintetizan las diferencias entre ambos sistemas. Este enfoque permite no solo cuantificar las variaciones en costos y tiempos, sino también interpretar su impacto en la viabilidad del proyecto.

Finalmente, los resultados obtenidos permitirán verificar el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación, estableciendo conclusiones fundamentadas que contribuyan a la toma de decisiones en el ámbito de la construcción de viviendas en el Ecuador. Este capítulo, por tanto, constituye el eje central de la investigación, al traducir

el análisis teórico en evidencia técnica aplicada, validando los criterios desarrollados en capítulos anteriores.

### **3.2 Modelado BIM del proyecto**

El modelado del proyecto se desarrolló mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), utilizando software especializado para la generación de un modelo tridimensional detallado de la vivienda unifamiliar. Este modelo integra información geométrica, estructural y constructiva, permitiendo una representación digital precisa del proyecto.

La implementación de BIM en el presente estudio responde a la necesidad de mejorar la precisión en la cuantificación de cantidades de obra, reducir errores asociados a métodos tradicionales y optimizar la planificación del proyecto. El uso de herramientas digitales en la construcción permite reducir errores de estimación y mejorar la coordinación entre disciplinas (Mckinsey Global Institute, 2017).

Durante el proceso de modelado, se definieron todos los elementos estructurales de la vivienda, incluyendo cimentaciones, columnas, vigas y losas, considerando sus dimensiones, materiales y especificaciones técnicas conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). Este nivel de detalle permitió garantizar que el modelo refleje fielmente las condiciones reales del proyecto.

Adicionalmente, el modelo BIM permitió:

- Generar automáticamente cantidades de obra (metrados).
- Detectar conflictos entre elementos estructurales y arquitectónicos.
- Simular el proceso constructivo para ambos sistemas.
- Evaluar diferentes escenarios constructivos.

Uno de los principales beneficios del uso de BIM radica en la reducción de incertidumbre durante la fase de planificación. De acuerdo con (Mckinsey Global Institute, 2017), el uso de herramientas digitales en la construcción puede reducir errores de estimación hasta en un 30%, lo que impacta directamente en la eficiencia del proyecto.

En el caso del sistema prefabricado, el modelado BIM resulta aún más relevante, ya que permite definir con precisión las dimensiones y tolerancias de los elementos estructurales, lo cual es fundamental para su fabricación en planta y posterior ensamblaje en obra. La

literatura indica que la integración de BIM con sistemas prefabricados mejora la eficiencia constructiva y reduce pérdidas de materiales.

En conclusión, el uso de BIM en este estudio no solo permitió mejorar la precisión de los datos utilizados en el análisis comparativo, sino que también contribuyó a optimizar la planificación del proyecto, reduciendo riesgos y mejorando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.3 Análisis de cantidades de obra**

El análisis de cantidades de obra constituye una etapa fundamental dentro del desarrollo del proyecto, ya que permite determinar con precisión los recursos necesarios para la ejecución de la edificación. A partir del modelo BIM desarrollado, se obtuvieron las cantidades correspondientes a los distintos elementos estructurales, tales como cimentaciones, columnas, vigas y losas.

En el sistema constructivo tradicional, las cantidades de obra se expresan principalmente en términos de volumen de hormigón, peso de acero de refuerzo y superficie de encofrados. Estos parámetros son esenciales para la estimación de costos, ya que permiten calcular el consumo de materiales y la cantidad de mano de obra requerida.

Por otro lado, en el sistema prefabricado, las cantidades se determinan en función del número y tipo de elementos estructurales fabricados en planta. Estos elementos incluyen paneles, vigas y losas prefabricadas, cuya producción se realiza bajo condiciones controladas, lo que permite optimizar el uso de materiales y reducir desperdicios. (International Energy Agency IEA, 2021).

La precisión en la cuantificación de cantidades de obra es un factor determinante en la eficiencia económica del proyecto. Según el (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020), los errores en la estimación de cantidades pueden generar desviaciones significativas en el presupuesto, afectando la viabilidad del proyecto.

En este estudio, se observa que ambos sistemas presentan cantidades similares en términos de volumen estructural; sin embargo, el sistema prefabricado muestra una mayor eficiencia en el uso de materiales, debido a la reducción de pérdidas durante el proceso de fabricación. Este aspecto resulta especialmente relevante en términos de sostenibilidad, ya que contribuye a disminuir el impacto ambiental del proyecto.

Adicionalmente, la estandarización de elementos en el sistema prefabricado facilita la planificación y reduce la variabilidad en la ejecución, lo que se traduce en una mayor eficiencia constructiva.

### **3.4 Análisis de costos del sistema tradicional**

El sistema constructivo tradicional de hormigón armado colado in situ constituye uno de los métodos más utilizados en el Ecuador, especialmente en la construcción de viviendas unifamiliares. Este sistema se caracteriza por la ejecución de todos los elementos estructurales directamente en obra, lo que implica una alta dependencia de la mano de obra y una mayor exposición a factores externos como condiciones climáticas. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

El análisis de costos de este sistema se estructura en función de los principales componentes del proceso constructivo, permitiendo identificar la incidencia de cada uno en el presupuesto total.

#### **3.4.1 Costos de materiales**

Los materiales utilizados en el sistema tradicional incluyen cemento, agregados (arena y grava), acero de refuerzo, agua y madera para encofrados. Estos materiales representan una proporción significativa del costo total del proyecto.

El consumo de hormigón depende directamente de las dimensiones de los elementos estructurales, mientras que el acero de refuerzo se calcula en función de las cargas estructurales. El uso de encofrados, por su parte, implica costos adicionales debido a su desgaste y reemplazo frecuente.

Además, el desperdicio de materiales en obra es un factor importante que incrementa los costos, especialmente en procesos manuales y poco controlados (International Energy Agency IEA, 2021).

#### **3.4.2 Costos de mano de obra**

La mano de obra en el sistema tradicional representa uno de los componentes más relevantes del presupuesto. Las actividades de armado, encofrado, vaciado y desencofrado requieren personal calificado, lo que incrementa los costos laborales.

La mano de obra representa entre el 30% y 40% del costo total en proyectos de edificación residencial. Esta alta incidencia se debe a la naturaleza intensiva del trabajo en obra y a la necesidad de ejecutar actividades de manera secuencial.

### **3.4.3 Costos de equipos**

Los equipos utilizados incluyen mezcladoras, vibradores, andamios y herramientas menores. Aunque su costo unitario es relativamente bajo, su uso prolongado durante la ejecución del proyecto genera costos acumulativos significativos.

### **3.4.4 Costos de transporte**

El transporte de materiales se realiza de manera continua durante toda la obra, lo que implica costos recurrentes. Este aspecto resulta especialmente relevante en el traslado de agregados y cemento. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

### **3.4.5 Costos indirectos**

Los costos indirectos incluyen gastos administrativos, supervisión, seguridad y servicios provisionales. Debido a la duración prolongada del sistema tradicional, estos costos tienden a incrementarse significativamente.

### **3.4.6 Presupuesto total**

El presupuesto total refleja la suma de todos los costos analizados. Se evidencia que, aunque los materiales presentan costos moderados, la alta incidencia de mano de obra y el tiempo de ejecución incrementan el costo final del proyecto.

## **3.5 Análisis de costos del sistema prefabricado**

El sistema constructivo prefabricado se caracteriza por la producción industrial de elementos estructurales en planta, los cuales son posteriormente transportados y ensamblados en obra. Este enfoque permite optimizar el uso de recursos, mejorar el control de calidad y reducir significativamente los tiempos de ejecución.

A diferencia del sistema tradicional, donde la mayoría de actividades se ejecutan en sitio, el sistema prefabricado traslada gran parte del proceso constructivo a un entorno controlado, lo que incide directamente en la eficiencia del proyecto. Según el (McKinsey Global Institute, 2017), la industrialización de la construcción permite mejorar la productividad hasta en un 50%, reduciendo desperdicios y optimizando el uso de materiales.

El análisis de costos del sistema prefabricado se estructura de manera equivalente al sistema tradicional, lo que permite realizar una comparación directa y objetiva entre ambos métodos constructivos.

### **3.5.1 Costos de materiales**

Los materiales empleados en el sistema prefabricado incluyen hormigón de alta resistencia, acero de refuerzo, cables pretensados y elementos de conexión. A diferencia del sistema tradicional, estos materiales son utilizados en un entorno industrial, lo que permite un mayor control en su dosificación y colocación.

El uso de moldes reutilizables y procesos estandarizados reduce significativamente el desperdicio de materiales. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency IEA, 2021), los sistemas prefabricados pueden reducir el desperdicio de materiales hasta en un 30%, en comparación con los métodos tradicionales.

Sin embargo, es importante considerar que el costo unitario de los elementos prefabricados suele ser mayor debido a los procesos de fabricación, control de calidad y logística involucrados. No obstante, esta inversión inicial se ve compensada por la reducción de pérdidas y la optimización del proceso constructivo.

### **3.5.2 Costos de mano de obra**

Uno de los principales beneficios del sistema prefabricado es la reducción significativa de la mano de obra en obra. La mayor parte del trabajo se realiza en planta, donde los procesos están automatizados y controlados.

Esto permite disminuir la cantidad de personal necesario en el sitio de construcción, así como reducir los tiempos de ejecución de actividades críticas. Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020), los sistemas industrializados pueden reducir la necesidad de mano de obra en obra hasta en un 40%.

Adicionalmente, la especialización de la mano de obra en planta contribuye a mejorar la calidad de los elementos producidos, reduciendo la probabilidad de errores constructivos.

### **3.5.3 Costos de equipos**

El sistema prefabricado requiere el uso de equipos especializados, principalmente grúas para el izaje y montaje de elementos estructurales. Estos equipos representan un costo significativo, pero su utilización se concentra en etapas específicas del proceso constructivo.

A diferencia del sistema tradicional, donde los equipos se utilizan durante toda la ejecución del proyecto, en el sistema prefabricado su uso es puntual y altamente eficiente, lo que permite optimizar los costos asociados.

### **3.5.4 Costos de transporte**

El transporte de elementos prefabricados constituye uno de los aspectos más relevantes del sistema. Este proceso requiere logística especializada, incluyendo vehículos adecuados y planificación de rutas.

El costo de transporte depende principalmente de la distancia entre la planta de producción y el sitio de la obra. En nuestro caso en el Ecuador, donde la disponibilidad de plantas prefabricadas puede ser limitada, este factor puede influir significativamente en el costo total.

No obstante, la reducción en la frecuencia de transporte en comparación con el sistema tradicional contribuye a compensar este costo.

### **3.5.5 Costos indirectos**

Los costos indirectos en el sistema prefabricado son considerablemente menores debido a la reducción del tiempo de ejecución. La menor duración del proyecto implica una disminución en gastos administrativos, supervisión, seguridad y servicios provisionales.

Este aspecto representa una de las principales ventajas del sistema prefabricado desde el punto de vista económico global.

### 3.5.6 Presupuesto total del sistema prefabricado

El presupuesto total del sistema prefabricado refleja un equilibrio entre costos iniciales más elevados y una reducción significativa en mano de obra, tiempos de ejecución y costos indirectos. Este balance permite alcanzar una mayor eficiencia económica en comparación con el sistema tradicional, especialmente en proyectos donde el tiempo de ejecución es un factor crítico.

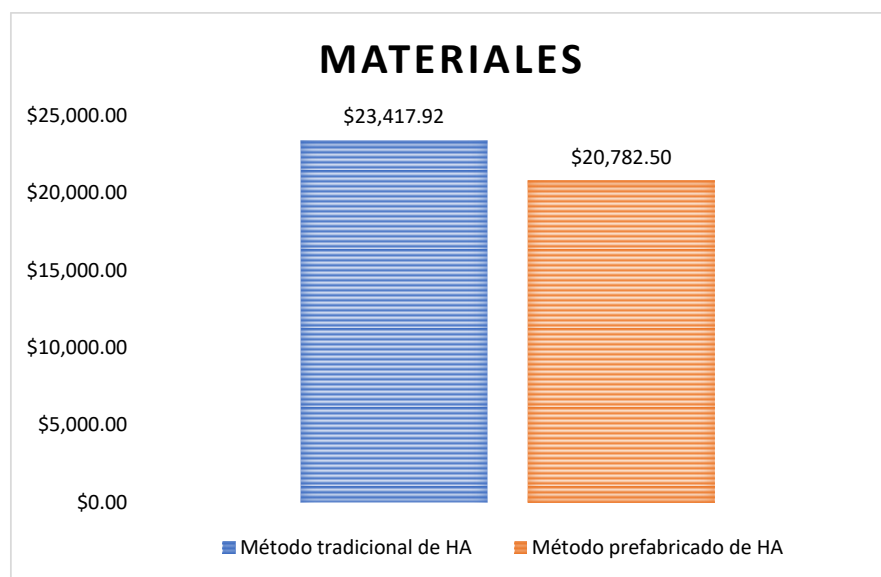
### 3.6 Comparación y análisis de resultados

El análisis comparativo de resultados constituye el eje central del presente capítulo, ya que permite evaluar de manera objetiva las diferencias entre el sistema constructivo tradicional y el sistema prefabricado.

Para ello, a partir del presupuesto detallado desarrollado para ambas alternativas, se realizó un análisis desagregado de los costos asociados a equipos, mano de obra, materiales y transporte, con el fin de identificar las principales variaciones en la estructura económica de cada sistema.

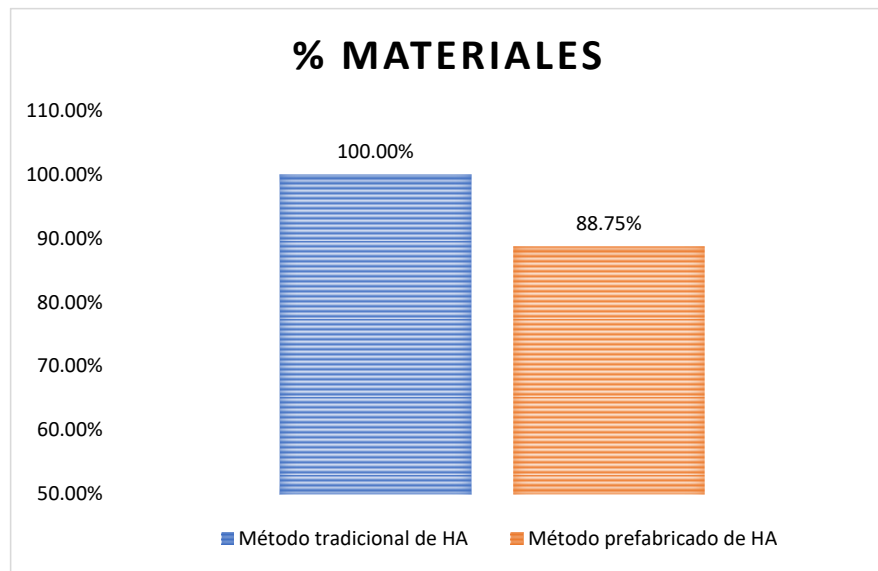
#### 3.6.1 Comparación de costos de materiales

*Gráfico 1: Comparación de costos de materiales*



*Fuente: Elaboración propia*

Gráfico 2: Comparación en % de costos de materiales



Fuente: Elaboración propia

El análisis de los costos de materiales evidencia diferencias relevantes entre ambos sistemas constructivos, tanto en el costo unitario como en la eficiencia de su utilización.

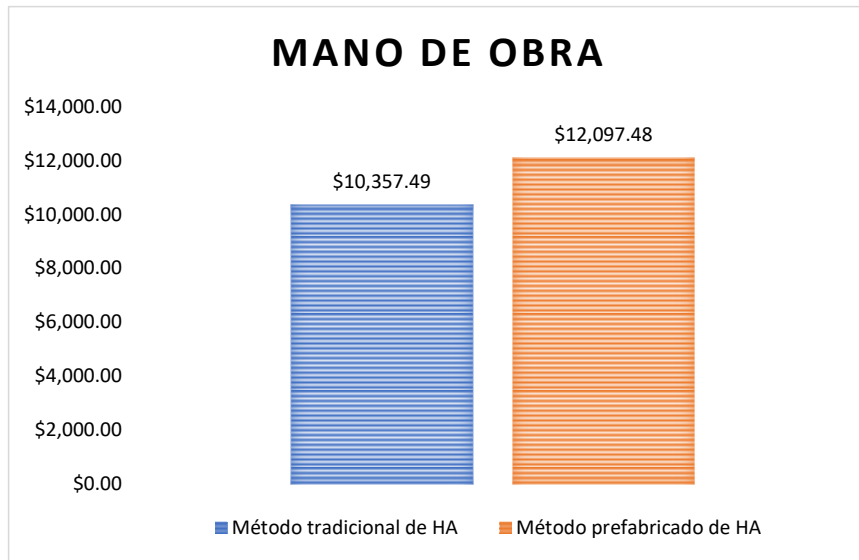
En el sistema tradicional, el costo de materiales se mantiene en un nivel medio; sin embargo, se presenta un alto porcentaje de desperdicio, principalmente asociado a pérdidas durante el encofrado, cortes de acero, manipulación de agregados y errores en obra. Estas pérdidas incrementan el consumo real de materiales y afectan la eficiencia del sistema.

Por otro lado, el sistema prefabricado presenta un mayor costo unitario de materiales, debido a los procesos de fabricación industrial y al control de calidad en planta. No obstante, este sistema reduce significativamente los desperdicios, ya que los elementos estructurales son producidos bajo condiciones controladas, con dosificaciones precisas y mínima variabilidad.

Desde una perspectiva personal este comportamiento evidencia que la industrialización del proceso constructivo no solo mejora la calidad de los elementos, sino que también contribuye a una gestión más eficiente de los materiales y a la reducción de impactos económicos y ambientales.

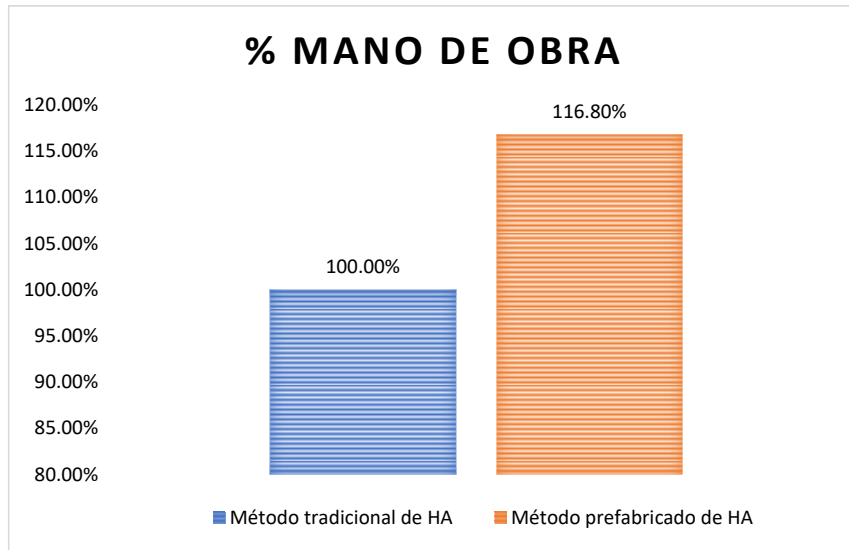
### 3.6.2 Comparación de mano de obra

Gráfico 3: Comparación de la mano de obra



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4: Comparación en % de la mano de obra



Fuente: Elaboración propia

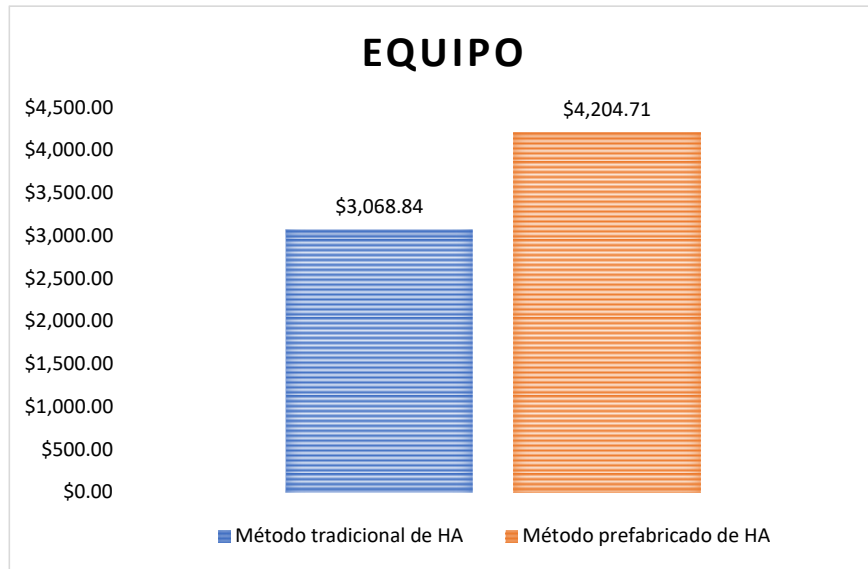
Se evidencia que el sistema constructivo prefabricado presenta una mayor demanda de mano de obra, debido a el costo por hora que cobra la mano de obra industrializada.

En contraste, el sistema prefabricado reduce significativamente la necesidad de personal en obra, al trasladar gran parte del proceso constructivo a un entorno industrializado. Esta condición permite optimizar el uso del recurso humano, mejorar la productividad.

En consecuencia, la industrialización del proceso constructivo representa una ventaja clara del sistema prefabricado en términos de eficiencia laboral.

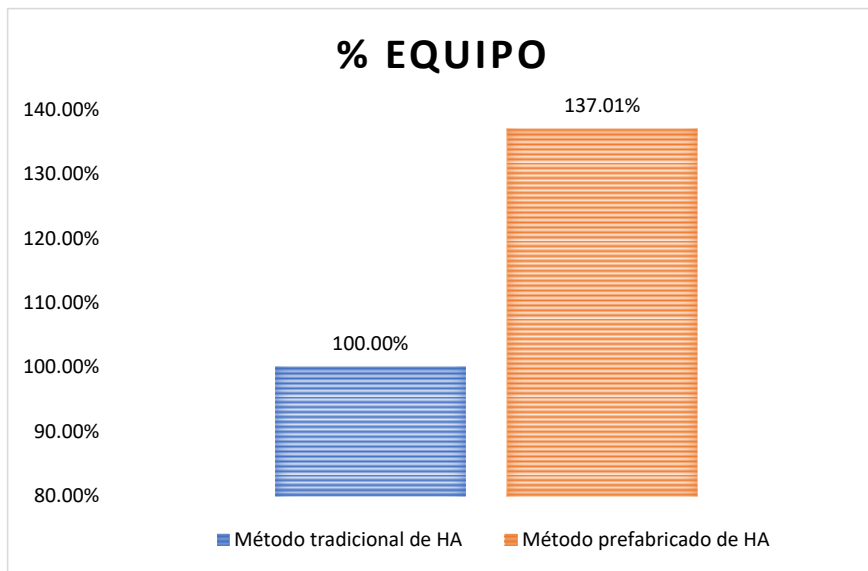
### 3.6.3 Comparación de equipos

Gráfico 5: Comparación de equipos



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Comparación en % de equipos



Fuente: Elaboración propia

El análisis del uso de equipos evidencia diferencias importantes entre ambos sistemas constructivos. En el sistema tradicional, el uso de equipos es continuo a lo largo de la

ejecución del proyecto, empleándose principalmente maquinaria ligera y herramientas convencionales para actividades como mezclado, encofrado y vaciado de hormigón.

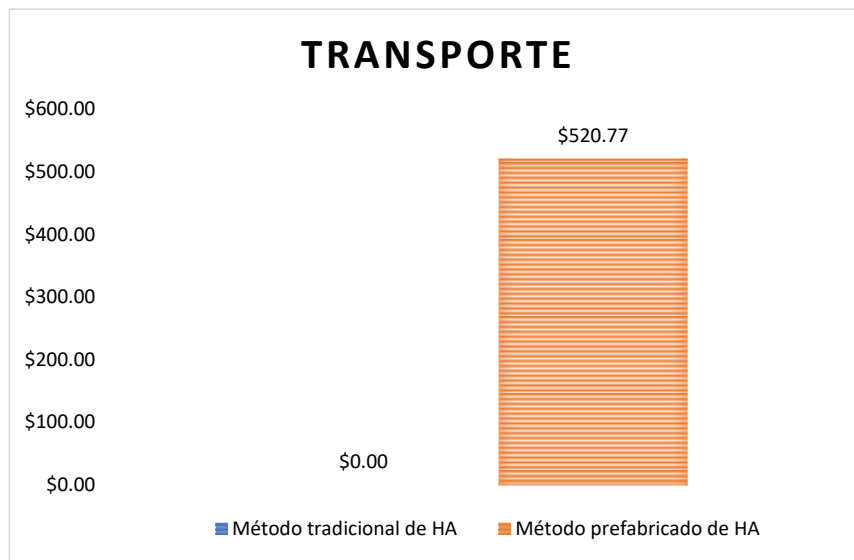
Por su parte, el sistema prefabricado concentra el uso de equipos en etapas específicas del proceso constructivo, particularmente durante el transporte y montaje de los elementos estructurales, donde se requiere maquinaria especializada como grúas y equipos de izaje.

Esta condición genera un mayor costo puntual en el uso de equipos en el sistema prefabricado; sin embargo, dicho incremento se compensa con la reducción de los tiempos de ejecución y la optimización de otros recursos, lo que contribuye a una mayor eficiencia global del proyecto.

En consecuencia, se determina que el sistema prefabricado presenta un uso más estratégico y eficiente de los equipos, en comparación con el uso prolongado y menos optimizado del sistema tradicional.

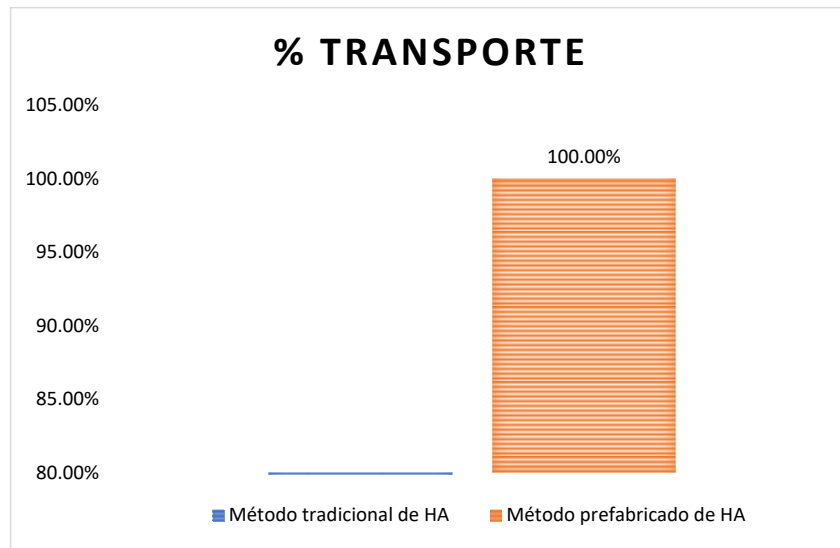
### 3.6.4 Comparación de transporte

Gráfico 7: Comparación de transporte



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: Comparación en % de transporte



Fuente: Elaboración propia

El transporte constituye un factor diferenciador relevante entre ambos sistemas constructivos. En el sistema tradicional, el traslado de materiales se realiza de manera continua durante toda la ejecución del proyecto, mediante el suministro de insumos básicos como cemento, agregados y acero en volúmenes relativamente pequeños los cuales no suelen tener mayor costo de transporte al ser comprados en ferreterías locales.

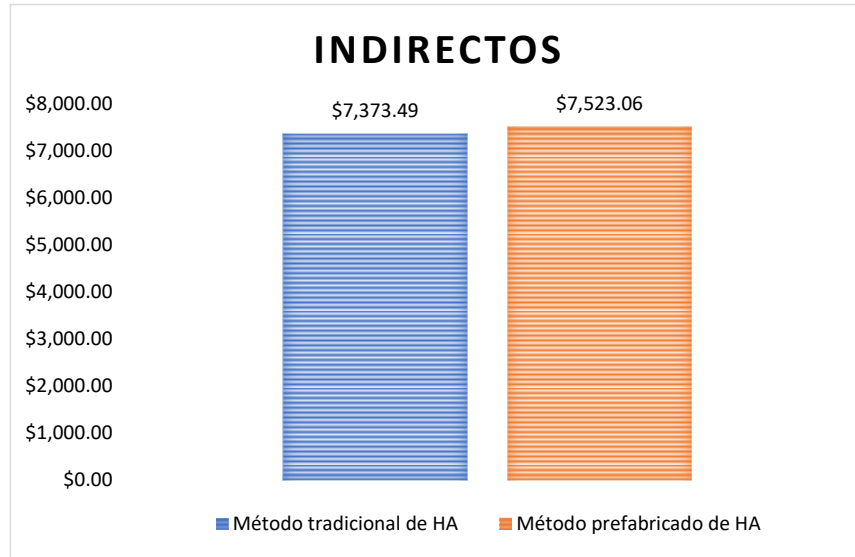
En contraste, el sistema prefabricado requiere un transporte menos frecuente pero más especializado, debido al traslado de elementos estructurales de gran tamaño desde la planta de producción hasta el sitio de la obra.

Esta característica implica un mayor costo unitario de transporte en el sistema prefabricado; sin embargo, la reducción en la cantidad de viajes, así como la disminución de desperdicios y tiempos de ejecución, permiten compensar este incremento.

En este sentido, se concluye que, aunque el sistema prefabricado presenta mayores exigencias logísticas, su eficiencia en términos de planificación y ejecución lo convierte en una alternativa competitiva frente al sistema tradicional.

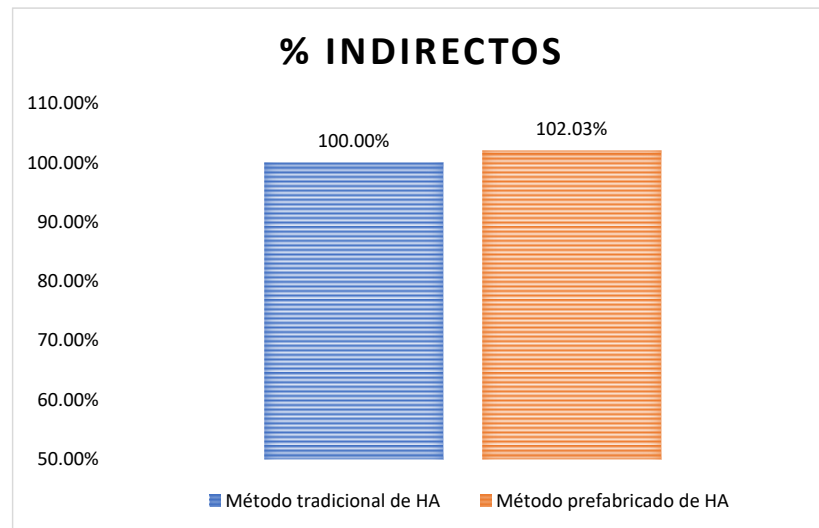
### 3.6.5 Comparación de costos indirectos

Gráfico 9: Comparación de costos indirectos



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Comparación en % de costos indirectos

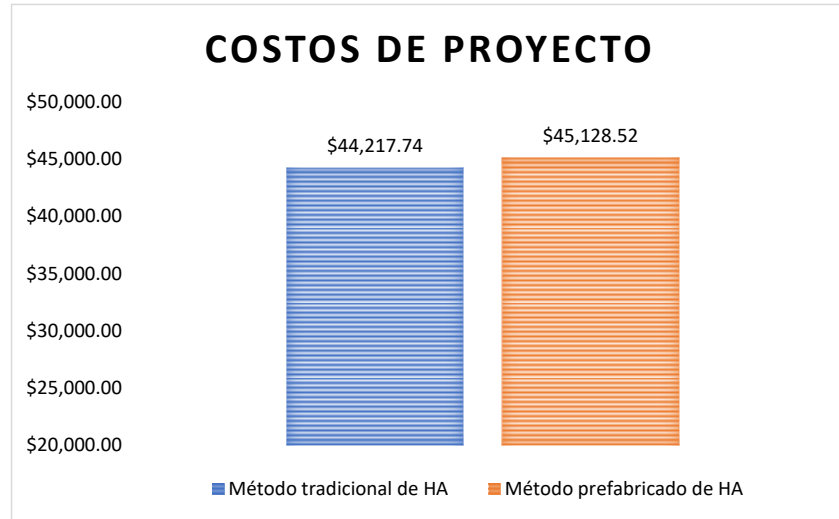


Fuente: Elaboración propia

Factores como una supervisión mucho más profesional en el sistema prefabricado aumenta de cierta manera los costos del sistema, pero a la vez no difieren por mucho del sistema tradicional.

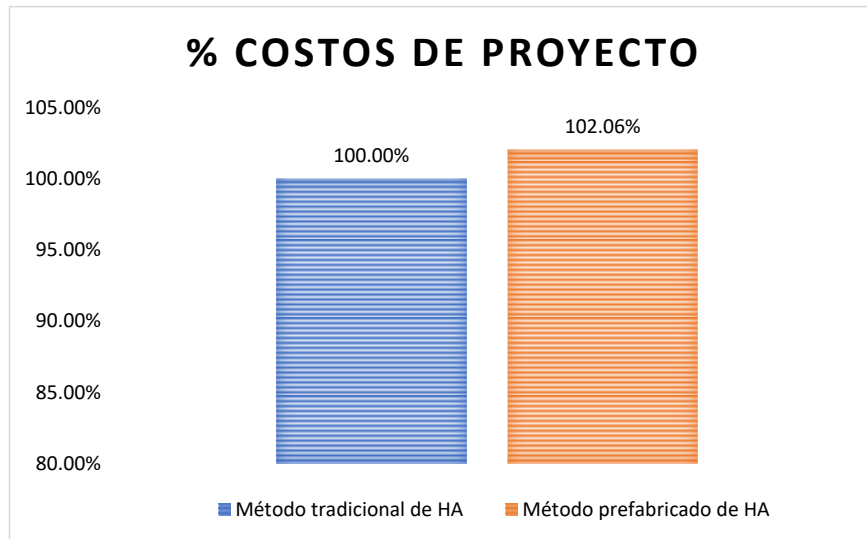
### 3.6.6 Comparación del costo total del proyecto

Gráfico 11: Comparación del costo general del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12: Comparación en % del costo general del proyecto



Fuente: Elaboración propia

El análisis del presupuesto o costo total del proyecto, obtenido a partir de los análisis de precios unitarios (APU) y las cantidades de obra derivadas del modelo BIM, evidencia diferencias no tan significativas entre ambos sistemas constructivos.

El sistema tradicional presenta menores costos iniciales en equipos, transporte y mano de obra.

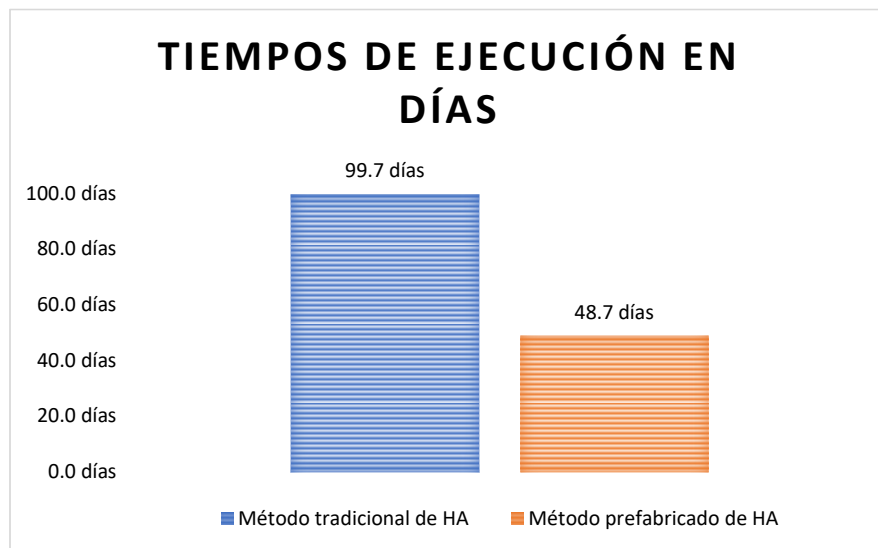
Por su parte, el sistema prefabricado, aunque implica una mayor inversión inicial en elementos industrializados, logra optimizar el costo global mediante la reducción de desperdicios de materiales, la disminución de horas-hombre en obra y la optimización del tiempo de ejecución.

En términos generales, se determina que el sistema prefabricado presenta un aumento aproximado del 2% en el costo total del proyecto, lo que evidencia una equidad entre los sistemas desde una perspectiva integral.

### 3.7 Comparación de tiempos de ejecución

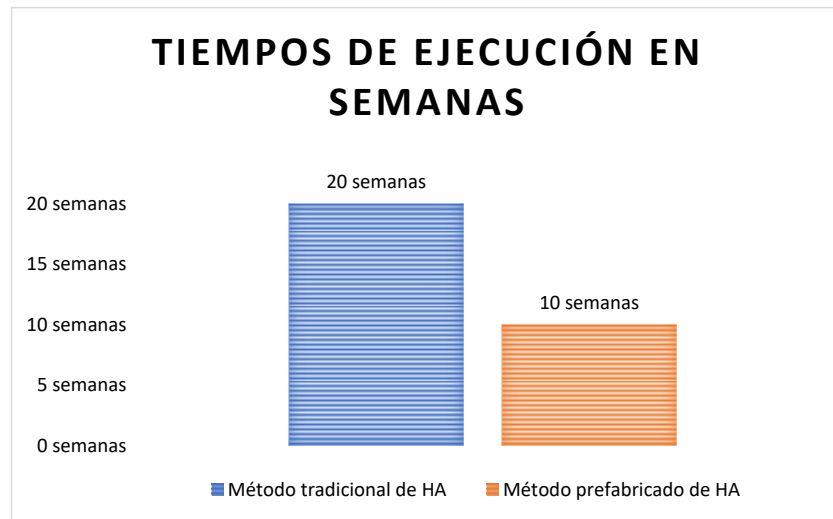
El análisis de los tiempos de ejecución se realizó mediante la elaboración de cronogramas detallados para ambos sistemas constructivos, considerando las actividades principales y su secuencia lógica dentro del proceso constructivo.

Gráfico 13: Comparación del tiempo de ejecución en días



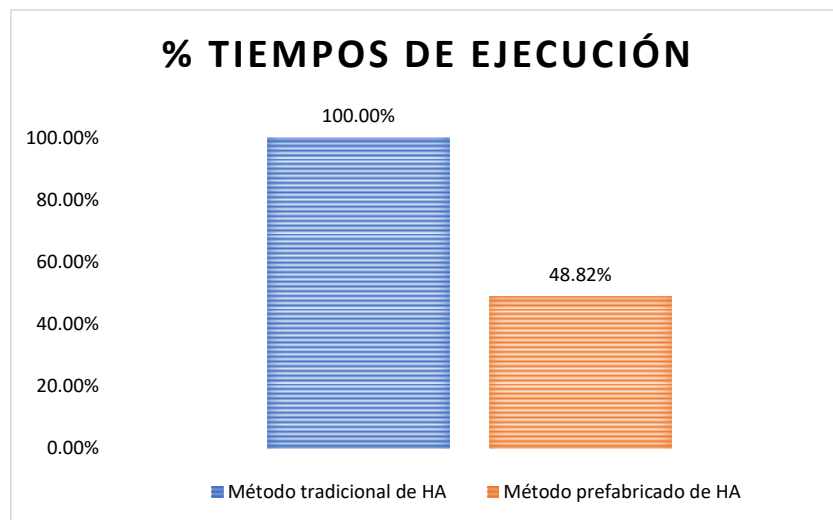
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Comparación del tiempo de ejecución en semanas



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15: Comparación en % del tiempo de ejecución



Fuente: Elaboración propia

El sistema tradicional presenta un plazo estimado de ejecución de **99.7 días** igual a **20 semanas** según el cronograma valorado, debido a la naturaleza secuencial de sus actividades, así como a la necesidad de respetar los tiempos de fraguado y curado del hormigón. Estas condiciones limitan la posibilidad de superponer tareas y generan tiempos muertos que prolongan la duración total del proyecto.

Por otro lado, el sistema prefabricado presenta un tiempo estimado de ejecución de **48.7 días** igual a **10 semanas** según el cronograma valorado, lo cual representa una reducción significativa en comparación con el sistema tradicional. Esta optimización se debe principalmente a la posibilidad de ejecutar actividades en paralelo, como la fabricación de elementos estructurales en planta mientras se desarrollan los trabajos preliminares en obra.

Asimismo, la eliminación de procesos como el encofrado, desencofrado y curado en sitio contribuye a una mayor eficiencia en la programación de actividades.

En términos generales, se determina que el sistema prefabricado permite reducir el tiempo total de ejecución en un **51.18%**, lo que constituye una ventaja significativa en proyectos donde el plazo de entrega es un factor crítico. Estos resultados son consistentes con estudios internacionales, como los reportados por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020), que destacan la eficiencia temporal de los sistemas constructivos industrializados.

En consecuencia, la variable tiempo se consolida como uno de los principales factores que posicionan al sistema prefabricado como una alternativa más eficiente frente al sistema tradicional.

### **3.8 Discusión de resultados**

Tras la ejecución de los modelos de presupuesto y planificación para ambos sistemas en una vivienda unifamiliar de tres niveles, se presentan los siguientes hallazgos críticos que permiten validar la eficiencia de la industrialización frente al método convencional:

#### **3.8.1 Optimización del factor tiempo**

Uno de los resultados más contundentes del estudio es la reducción del plazo de ejecución. Mientras que el sistema tradicional requiere un cronograma de obra de aproximadamente **20 semanas** debido a la secuencia lineal de actividades y los tiempos de curado del hormigón *in situ*, el sistema prefabricado logra completar la estructura y mamposterías en apenas **10 semanas**. Esta optimización del **51.18%** en el tiempo de entrega se fundamenta en la capacidad de ejecutar tareas de forma paralela, como la cimentación en sitio mientras se fabrican los paneles y losas en planta, reduciendo la exposición del proyecto a riesgos climáticos y retrasos logísticos.

### **3.8.2 Análisis de costos y reducción de desperdicios**

Desde la perspectiva económica, los datos de los APU (Análisis de Precios Unitarios) revelan una paradoja interesante: el costo de los materiales prefabricados es ligeramente superior al de los materiales básicos (cemento, arena, acero) del sistema tradicional. Sin embargo, la precisión geométrica lograda mediante el modelado BIM permite que el sistema prefabricado reduzca los desperdicios de material en un **11.25%** menos que el tradicional.

Además, el sistema industrializado demanda un equipo de montaje especializado pero reducido, lo que disminuye el costo de este rubro en comparación con las extensas cuadrillas necesarias para el armado de encofrados y vaciado de hormigón tradicional.

### **3.8.3 Calidad estructural y sostenibilidad**

La discusión técnica también debe considerar que el hormigón prefabricado garantiza una resistencia característica más homogénea al ser producido bajo condiciones controladas de laboratorio y planta. Esto reduce la incertidumbre sobre la capacidad portante de la vivienda de tres niveles frente a eventos sísmicos, cumpliendo con mayor rigor los estándares de la NEC-15. Asimismo, la menor generación de escombros en el sitio de obra posiciona al sistema prefabricado como una alternativa más alineada con la construcción sostenible en el entorno urbano de Cuenca.

En definitiva, aunque la inversión inicial en componentes prefabricados puede parecer elevada, la reducción en los materiales derivada de la rapidez de ejecución y la minimización de desperdicios, resulta en un costo global del proyecto más competitivo y un retorno de inversión acelerado para el propietario.

### **3.8.4 Análisis de ventajas y limitaciones de los sistemas constructivos**

Como parte del cumplimiento de los objetivos planteados, se realizó un análisis técnico de las principales ventajas y limitaciones asociadas tanto al sistema constructivo tradicional como al sistema prefabricado, con el fin de establecer criterios claros para su aplicación en proyectos de vivienda de mediana escala.

En el caso del sistema constructivo tradicional, se identifican como principales ventajas su amplia disponibilidad en el contexto ecuatoriano, la facilidad de adaptación durante el proceso constructivo y la menor necesidad de planificación detallada en etapas iniciales. Este sistema permite realizar modificaciones en obra con relativa facilidad, lo cual resulta

beneficioso en proyectos donde existen cambios frecuentes en el diseño. Asimismo, la disponibilidad de mano de obra calificada y materiales en el mercado local facilita su implementación sin requerimientos tecnológicos especializados.

No obstante, el sistema tradicional presenta importantes limitaciones, entre las que destacan su alta dependencia de la mano de obra, la ejecución secuencial de actividades, factores climáticos y la prolongación de los tiempos de construcción. Estas características generan una mayor exposición a factores externos como las condiciones climáticas. Además, la variabilidad en la calidad de ejecución puede afectar el desempeño final de la edificación, especialmente en ausencia de un control técnico riguroso.

Por otro lado, el sistema constructivo prefabricado presenta como principales ventajas la reducción significativa de los tiempos de ejecución, el mejor control de calidad de los elementos estructurales y la optimización en el uso de materiales. La fabricación en planta bajo condiciones controladas permite minimizar errores constructivos, reducir desperdicios y mejorar la precisión en la ejecución. Asimismo, la posibilidad de desarrollar actividades en paralelo contribuye a una mayor eficiencia en la planificación del proyecto.

Sin embargo, este sistema también presenta ciertas limitaciones, principalmente relacionadas con la logística de transporte, la necesidad de equipos especializados para el montaje y la dependencia de una adecuada planificación previa. En contextos como el ecuatoriano, la disponibilidad limitada de plantas de prefabricación y la infraestructura logística pueden representar un desafío para su implementación. Adicionalmente, la rigidez del sistema frente a modificaciones en obra puede generar dificultades en proyectos donde no se cuenta con un diseño completamente definido desde las etapas iniciales.

En consecuencia, el análisis desarrollado permite concluir que ambos sistemas presentan ventajas y limitaciones que deben ser evaluadas en función de las características específicas de cada proyecto. Mientras que el sistema tradicional ofrece mayor flexibilidad y accesibilidad, el sistema prefabricado destaca por su eficiencia, calidad y sostenibilidad, constituyéndose como una alternativa viable y competitiva en el contexto de la construcción moderna.

### **3.9 Síntesis de cumplimiento de objetivos en el desarrollo experimental**

A partir de los análisis técnicos y económicos desarrollados en las secciones precedentes, es posible determinar el grado de cumplimiento de los objetivos planteados para la presente investigación:

#### **Respecto a la determinación de costos**

Mediante la estructuración de los Análisis de Precios Unitarios (APU) contenidos en la herramienta de presupuesto, se logró identificar que el sistema prefabricado permite una optimización de recursos económicos orientada a la reducción de desperdicios. Los datos obtenidos validan que, si bien el costo por m<sup>2</sup> de material industrializado es superior, la eficiencia en el uso de materiales y la reducción de rubros auxiliares (como encofrados y apuntalamientos) equilibran la balanza financiera hacia una viabilidad competitiva al tener costos muy similares entre ambos sistemas y presentar una diferencia del 2% mayor para el prefabricado.

#### **Respecto al análisis de plazos de ejecución**

El desarrollo de los cronogramas comparativos permitió cuantificar una reducción del tiempo de obra de aproximadamente del 51.18% en el prefabricado. Este hallazgo cumple con el objetivo de evaluar la eficiencia temporal, demostrando que la ruta crítica del sistema prefabricado es significativamente más corta debido al solapamiento de actividades de fabricación y cimentación.

#### **Respecto a la comparación técnica de procesos**

La comparativa de rendimientos de mano de obra y equipos permite concluir que el sistema prefabricado requiere una menor intensidad de horas-hombre en sitio, trasladando la carga operativa a un entorno industrial controlado. Esto no solo cumple con el objetivo de comparar ambos métodos, sino que resalta la mejora en la seguridad laboral y el control de calidad estructural exigido por la normativa vigente.

### **3.10 Conclusiones del capítulo**

A partir del desarrollo del análisis comparativo entre el sistema constructivo tradicional de hormigón armado y el sistema prefabricado, aplicado a una vivienda unifamiliar de tres niveles, se establecen las siguientes conclusiones:

En primer lugar, el uso de la metodología BIM permitió obtener una cuantificación precisa de las cantidades de obra y una mejor planificación del proyecto, lo que contribuyó a reducir la incertidumbre en la estimación de costos y tiempos. Esta herramienta resultó fundamental para garantizar la confiabilidad del análisis comparativo entre ambos sistemas constructivos.

En cuanto al análisis económico, se concluye que el sistema tradicional presenta menores costos iniciales; sin embargo, su alta dependencia de la mano de obra y la prolongada duración del proceso constructivo generan un incremento significativo en los costos. Por otro lado, el sistema prefabricado, aunque implica una mayor inversión inicial en materiales y logística, logra reducir los tiempos de ejecución y la generación de residuos.

Respecto a la mano de obra, se evidencia que el sistema tradicional requiere una mayor cantidad de personal y jornadas laborales, debido a la naturaleza secuencial de sus procesos. En contraste, el sistema prefabricado reduce considerablemente la intervención en obra, trasladando gran parte del proceso a un entorno industrial, lo que mejora la productividad y el control de calidad.

En relación con el uso de equipos y transporte, el sistema tradicional presenta un uso continuo de equipos durante toda la ejecución del proyecto, mientras que el sistema prefabricado optimiza estos recursos mediante el uso puntual de maquinaria especializada. No obstante, se identifica que la logística de transporte en el sistema prefabricado constituye un factor crítico que debe ser considerado en la planificación del proyecto.

En términos de tiempo de ejecución, el sistema prefabricado demuestra una ventaja significativa, logrando reducir los plazos de construcción en un 51.18% en comparación con el sistema tradicional. Esta reducción se debe principalmente a la posibilidad de ejecutar actividades en paralelo y a la eliminación de procesos como el fraguado del hormigón en obra.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el sistema prefabricado presenta un mejor desempeño ambiental, al generar menores cantidades de residuos, optimizar el uso de materiales y reducir el consumo de agua en obra. En contraste, el sistema tradicional presenta mayores niveles de desperdicio y un impacto ambiental más elevado.

Finalmente, el análisis integral de resultados permite concluir que el sistema prefabricado constituye una alternativa más eficiente en términos de tiempo y sostenibilidad. No obstante, su implementación depende de factores como la disponibilidad de infraestructura industrial, la logística de transporte y la planificación del proyecto. Por su parte, el sistema tradicional continúa siendo una opción viable en contextos donde se requiere mayor flexibilidad constructiva o donde existen limitaciones en el acceso a sistemas industrializados.

En consecuencia, la selección del sistema constructivo más adecuado debe basarse en un análisis técnico integral que considere las condiciones específicas del proyecto, priorizando no solo el costo inicial, sino también el desempeño global durante todo el ciclo de vida de la edificación.

## 4. Conclusiones finales

La presente investigación permitió desarrollar un análisis comparativo integral entre el sistema constructivo tradicional de hormigón armado colado in situ y el sistema prefabricado, aplicado a una vivienda unifamiliar de tres niveles en la ciudad de Cuenca. A partir del cumplimiento de los objetivos planteados, se obtuvieron conclusiones relevantes desde el punto de vista técnico, económico, temporal y ambiental.

En primer lugar, se logró establecer un modelo base adecuado que permitió la comparación objetiva entre ambos sistemas constructivos, evidenciando que la geometría estructural del proyecto es compatible con la implementación de elementos prefabricados sin necesidad de modificaciones significativas en el diseño arquitectónico. Este aspecto resulta fundamental, ya que demuestra la viabilidad de adaptar proyectos convencionales a procesos constructivos industrializados.

En relación con el predimensionamiento estructural, se determinó que el sistema prefabricado cumple con los requerimientos técnicos y normativos establecidos, garantizando niveles adecuados de seguridad, resistencia y comportamiento estructural. Esto confirma que la prefabricación no representa una limitación desde el punto de vista estructural, sino una alternativa técnicamente confiable.

En el ámbito económico, el análisis de costos permitió identificar diferencias claras en la estructura de cada sistema. El sistema tradicional presenta menores costos iniciales en mano de obra y equipos; sin embargo, su alta dependencia de la mano de obra y la prolongación de los tiempos de ejecución incrementan los costos indirectos del proyecto. Por el contrario, el sistema prefabricado, aunque implica una mayor inversión inicial, logra optimizar el costo total mediante la reducción de desperdicios, la disminución de horas-hombre en obra y la eficiencia en la ejecución de actividades.

En cuanto a la mano de obra, se evidenció que el sistema tradicional requiere una mayor cantidad de personal debido a la ejecución secuencial de procesos constructivos, mientras que el sistema prefabricado optimiza el recurso humano al trasladar gran parte de las actividades a un entorno industrializado. Este factor incide directamente en la productividad y en la reducción de costos operativos.

Respecto a los equipos y transporte, se determinó que el sistema prefabricado presenta mayores exigencias logísticas y el uso de maquinaria especializada; no obstante, estos

costos se ven compensados por la reducción en los tiempos de ejecución y la optimización general del proceso constructivo.

Uno de los resultados más relevantes de la investigación corresponde al análisis de tiempos de ejecución. Se comprobó que el sistema prefabricado permite reducir la duración del proyecto entre un 40% y 60% en comparación con el sistema tradicional. Esta diferencia se debe principalmente a la posibilidad de ejecutar actividades de forma paralela, a la eliminación de procesos como el encofrado y el curado en sitio.

Desde la perspectiva ambiental, el sistema prefabricado demostró un mejor desempeño en términos de sostenibilidad, al reducir la generación de residuos, el consumo de agua y la huella de carbono asociada al proceso constructivo. Esto posiciona a la prefabricación como una alternativa alineada con los principios de construcción sostenible.

Finalmente, se concluye que el sistema prefabricado representa una opción más eficiente cuando se evalúa el proyecto de manera integral, considerando no solo los costos iniciales, sino también el tiempo de ejecución, la productividad, la sostenibilidad y la calidad constructiva. No obstante, el sistema tradicional continúa siendo una alternativa viable en contextos donde existen limitaciones logísticas, económicas o de disponibilidad tecnológica.

## 5. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a mejorar la toma de decisiones en proyectos de construcción de viviendas unifamiliares y fomentar la adopción de sistemas constructivos más eficientes.

En primer lugar, se recomienda promover la implementación de sistemas constructivos prefabricados en proyectos de mediana escala, debido a su capacidad para optimizar tiempos de ejecución y mejorar la calidad constructiva. Esta adopción debe estar acompañada de una adecuada planificación desde las etapas iniciales del proyecto.

Es fundamental fortalecer la capacitación técnica de profesionales y trabajadores del sector de la construcción en el uso de sistemas industrializados. La correcta implementación del sistema prefabricado depende en gran medida del conocimiento técnico en procesos de diseño, fabricación, transporte y montaje de elementos estructurales.

Asimismo, se recomienda incentivar el desarrollo de plantas de prefabricación a nivel local, especialmente en ciudades como Cuenca, con el fin de reducir los costos asociados al transporte y mejorar la disponibilidad de estos sistemas en el mercado. La descentralización de la producción permitiría aumentar la competitividad del sistema prefabricado frente al tradicional.

En el ámbito normativo, se sugiere fortalecer y actualizar la regulación ecuatoriana relacionada con sistemas prefabricados, incorporando lineamientos técnicos específicos que faciliten su diseño, ejecución y control. Esto contribuiría a generar mayor confianza en su uso dentro del sector de la construcción.

Se recomienda también el uso obligatorio o progresivo de herramientas de modelado BIM en proyectos de construcción, ya que estas permiten mejorar la precisión en la cuantificación de materiales, optimizar costos y facilitar la planificación de cronogramas, reduciendo errores durante la ejecución.

Para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el análisis incorporando estudios de ciclo de vida de las edificaciones, considerando no solo la fase constructiva, sino también la operación, mantenimiento y demolición. Esto permitiría evaluar de manera más completa el impacto económico y ambiental de cada sistema.

De igual manera, se recomienda realizar estudios comparativos en diferentes tipos de edificaciones, como edificios multifamiliares o proyectos de mayor escala, con el fin de validar la eficiencia del sistema prefabricado en distintos contextos constructivos.

Finalmente, se recomienda que los promotores y profesionales del sector adopten un enfoque integral en la selección del sistema constructivo, considerando no únicamente el costo inicial, sino también variables como el tiempo, la sostenibilidad, la calidad y la eficiencia global del proyecto.

## Referencias bibliográficas

- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (10 de enero de 2015). *Ministerio de Infraestructura y Transporte*. Obtenido de <https://www.mit.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). Obtenido de Estadísticas de Edificaciones : <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/esed-encuesta-edificaciones-trimestral/>
- Mckinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*. Mckinsey's Capital Projects & Infrastructure Practice.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2020). *Productivity in construction*.
- International Energy Agency IEA. (2021). *Global status report for buildings and construction*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2023). *Transformación del hábitat y las ciudades Hacia un desarrollo urbano sostenible en América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) . (2022). *World Cities Report 2022 Envisaging the Future of Cities*.
- PCI Industry Handbook Committee. (2004). *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*.
- Gibb. (1999). Fabricación fuera de obra: prefabricación, preensamblaje y modularización. *World Journal of Engineering and Technology*.
- Rafael Sacks, C. E., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*.
- Chudley, & Greeno. (2006). *BUILDING CONSTRUCTION HANDBOOK*.

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. An exploration towards a production theory and its application to construction.

Project Management Institute Global Standard. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK® GUIDE*.

Kerzner, H. (2009). *Project Management A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*.

Lawson, M. (2014). *Design in Modular Construction*. Taylor & Francis Group, LLC.

UNEP, U. N. (2025). *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025*.