

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño e Innovación

Uso de un sistema constructivo alternativo como estrategia para optimizar el
tiempo de construcción de VIS, sin comprometer su calidad

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Diseño e
Innovación

Presenta:

Arq. Alan Israel Pastén Castrejón

Dirigido por:

Dr. Guillermo Iván López Domínguez

Dr. Guillermo Iván López Domínguez
Director

Dra. Norma Maricela Ramos-Salinas
Secretaria

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Vocal

Dra. Sandra Hernández López
Suplente

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro. 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Dedicatorias

A mis padres, que, con su trabajo silencioso,
su fe inquebrantable y su amor sin medida,
construyeron los cimientos de todo lo que soy.

Gracias por enseñarme que la disciplina vale más
que el talento, y que los sueños no se heredan:
se construyen con esfuerzo, día tras día.

Esta tesis no es solo el cierre de un ciclo académico,
es el reflejo de todo lo que ustedes han sembrado en mí.

Va para ustedes, con todo mi amor y gratitud eterna.

A la mejor herencia que mis padres pudieron darme: mi hermana,
Jovana Pastén, fuente inagotable de inspiración, inteligencia y
genialidad científica.

Porque en cada conversación contigo encontré preguntas
más grandes que mis respuestas, y en cada logro tuyo,
el impulso para no rendirme con los míos.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro, universidad que me formó como un ser humano integral y honesto, bajo el lema “Educo en la Verdad y en el Honor” valores de suma importancia para mi desarrollo profesional.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme las instalaciones donde llevé a cabo el desarrollo de esta investigación.

Al apoyo económico brindado por CONAHCYT bajo el CVU 1315067 de becas nacionales para posgrado.

También deseo expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Guillermo Iván López Domínguez, director de este proyecto de tesis, por su extraordinaria capacidad para guiar el proceso con rigor académico, visión estratégica y una ética impecable respecto a la autonomía intelectual del investigador. Su acompañamiento fue firme pero respetuoso, permitiendo que las decisiones fundamentales del proyecto permanecieran en manos del autor, sin imponer perspectivas que comprometieran el carácter original de esta investigación. Su equilibrio entre dirección académica y respeto por la autoría fue esencial para el desarrollo íntegro de este trabajo.

Agradezco también a la Dra. Norma Maricela Ramos-Salinas, por su compromiso con la formación crítica y su permanente disposición al diálogo constructivo. Sus aportaciones, tanto en el ámbito teórico como metodológico, aportaron claridad conceptual y profundidad analítica a las etapas clave del estudio.

Mi gratitud al Dr. Gilberto Herrera Ruiz, cuya trayectoria y liderazgo en el impulso a la ciencia aplicada en México representan una inspiración constante. Su visión sobre el papel de la investigación en la transformación social fortaleció el sentido de pertinencia de este proyecto, así como su proyección hacia escenarios de aplicación real.

A la Dra. Sandra Hernández López, por su contagioso optimismo, su capacidad para alentar la creatividad y su fe constante en que la investigación no solo explica el mundo, sino que también puede transformarlo. Su impulso me motivó a no temer al emprendimiento técnico ni a los desafíos que conlleva la innovación en contextos reales de alta exigencia.

A la Dra. Magdalena Mendoza Sánchez, por su rigor formativo y por haber impartido, con paciencia y claridad, saberes fundamentales que dieron soporte técnico y metodológico a esta investigación. Las herramientas conceptuales y prácticas adquiridas en sus clases fueron decisivas para alcanzar los objetivos aquí planteados.

Finalmente, agradezco de manera muy especial a PAC Arquitectura y Construcción, empresa que creyó en el valor de esta propuesta y que se convirtió en aliado estratégico para la validación experimental del sistema constructivo alternativo. Su apoyo financiero y técnico fue indispensable para el desarrollo del prototipado, así como para la recolección empírica de datos que sustentan los hallazgos del proyecto. Este trabajo no habría alcanzado su nivel de implementación sin la apertura y colaboración brindada por dicha firma.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento por haber sido parte esencial del camino para lograr este objetivo de concluir de manera satisfactoria la investigación.

Índice general

Dedicatorias	2
Agradecimientos	3
Índice general	5
Índice de tablas	10
Índice de gráficas	11
Abreviaturas y Siglas	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
II. Antecedentes	17
2.1 La crisis habitacional en América Latina	17
2.2 La crisis habitacional en México	17
2.3 Surgimiento de la vivienda social en México.....	19
2.3.1 Características de la vivienda social en México	20
2.4 Contexto socio-tecnológico de la vivienda en México.....	20
2.4 Modelos históricos de producción de vivienda social.....	22
2.4.1 Transición de la vivienda progresiva a la vivienda estandarizada.....	23
2.4.2 Actualidad de la producción de vivienda social en México.....	23
2.5 Retos del crecimiento urbano y la presión sobre el sector construcción	24
2.5.1 Crecimiento urbano descontrolado y disperso	24
2.5.2 Superación de la capacidad de respuesta constructiva.....	24
2.5.3 Implicaciones del crecimiento para planeación, tiempos y control de calidad ...	25
2.6 Contribución de la vivienda al cumplimiento de la Agenda 2030	25
2.6.1 La vivienda en el centro de los ODS en México	26
2.7 Medición de pobreza, calidad y espacios de la vivienda	27
2.7.1 Encuesta Nacional de Vivienda. Presentación de resultados	28
2.8 Precios de la vivienda en México, tercer trimestre de 2024	28
III. Fundamentación teórica	28
3.1 Definición de vivienda	28

3.2	Concepto de vivienda social	29
3.3	Definición de superávit habitacional.....	29
3.4	Tiempo y calidad como ejes en la producción de vivienda	30
3.4.1	Relación entre aceleración de obra y calidad habitacional	31
3.4.2	Impacto del tiempo de ejecución en costos, habitabilidad y ocupación	31
3.4.3	La calidad como variable para evitar el superávit habitacional.....	32
3.5	Estrategias aplicables a la gestión de proyectos de construcción.....	32
3.5.1	Lean Construction	33
3.5.2	Planificación de un proyecto de construcción basado en Lean Construction.	34
3.5.3	Planificación maestra de un proyecto de producción de VIS.....	35
3.5.4	Capacitación especializada para producción de VIS.....	36
3.6	Principales retos en el ejercicio del derecho a vivienda de calidad	36
3.6.1	Elementos de una vivienda adecuada	37
3.7	Influencia de la optimización de procesos constructivos en programas habitacionales	38
3.8	Sistemas constructivos aplicados en vivienda.....	39
3.8.2	Sistemas tradicionales.....	42
3.9	Sistemas constructivos alternativos para la construcción de vivienda de interés social	43
3.9.2	Sistemas basados en “Formwork system”	45
3.9.3	Prefabricados	45
3.9.4	Estructuras de acero.....	47
3.9.5	Paneles modulares.....	47
3.10	Ventajas y desventajas de la construcción con sistemas alternativos	48
3.8	Limitaciones en México para utilización de sistemas constructivos alternativos	48
3.11	Vivienda social y los sistemas de construcción in situ.....	49
3.11.1	Limitaciones actuales en los sistemas de construcción in situ	50
3.12	Necesidad de soluciones eficientes y sostenibles.	50
3.13	Evaluación de sistemas constructivos no tradicionales	51
3.14	Gestión eficiente del tiempo durante la producción de vivienda social.....	51
3.15	Proyectos análogos que han utilizado sistemas constructivos alternativos para vivienda social	51
3.16	Identificación de oportunidades de mejora	54
IV.	Descripción del problema.....	55

V. Objetivos	57
5.1 Objetivo general	57
5.2 Objetivos específicos	58
VI. Metodología	58
5.1 Doble Diamante del <i>Design Council UK</i> + Prototipado de <i>Design Thinking</i>	58
5.1.1 Fase 1: Descubrir	60
5.1.2 Fase 2: Definir	61
5.1.3 Fase 3: Desarrollar	62
5.1.4 Fase 4: Prototipar	63
5.1.5 Fase 5: Validar	65
VI. Resultados	66
6.1 Resultados Fase 1: Descubrir	66
6.2 Resultados Fase 2: Definir	69
6.3 Resultados Fase 3: Desarrollar	71
6.4 Resultados Fase 4: Prototipar	73
6.4.1 Resultados primera etapa experimental	74
6.4.2 Tablas comparativas relación tiempo de construcción	78
6.4.3 Aplicación Instrumento de Evaluación Comparativa de Sistemas Constructivos (IECSC)	80
5.3 Instrumento de evaluación comparativa de sistemas constructivos (IECSC)	81
6.4.4 Tablas y gráficas de resultados de instrumento	83
6.4.5 Análisis por coincidencia de los resultados	84
6.4.6 Resultados segunda etapa experimental	90
6.4.7 Resultados tercera etapa experimental	92
6.4.8 Análisis de resultados tercera etapa experimental	105
6.4.9 Gráficos comparativos entre sistemas constructivos	107
VII. Discusión y conclusiones	109
7.1 Una Prospectiva del sistema constructivo alternativo PMS	115
VIII. Referencias y bibliografía	117
IX. Anexos	123

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de interacciones socio-tecnológicas de la vivienda en México (Elaboración propia, 2024).....	21
Figura 2. Niveles de medición de pobreza. (Elaboración propia, datos de CONEVAL, s.f.).....	28
Figura 3. Elementos de una vivienda adecuada (ONU-Habitat, 2019 b).	37
Figura 4. Corte representativo de un sistema constructivo tradicional por confinamiento. (Barros y Sarabia, 2017).....	43
Figura 5. Generalidades de sistemas constructivos (Elaboración propia).	
Figura 6. Corte representativo de un sistema constructivo alternativo denominado Convitec. (Barros y Sarabia, 2017).	45
Figura 7. Formwork System. (Peri USA, s.f).	45
Figura 8. Corte representativo de un sistema alternativo prefabricado denominado panel SIP. (Barros y Sarabia, 2017).	47
Figura 9. Representación de estructura basado en un sistema constructivo modular (Alquimodul, 2017).....	48
Figura 10. Representación axonométrica del prototipo de vivienda. (Baraya, 2020).....	53
Figura 11. Representación axonométrica de los módulos existentes divididos por espacios. (UNABV, 2020)	54
Figura 12. Fases de la metodología Doble Diamante del Design Council + Integración de Prototipado del Design Thinking. (Elaboración propia, Design Council, 2019).....	60
Figura 13. Fase 1: Recopilación de información sistemas constructivos, calidad y tiempo. (Elaboración propia, 2024).	

Figura 14. Fase 2: Definición sistema constructivo tradicional. (Elaboración propia, 2024).....	
Figura 15. Fase 2: Definición sistema constructivo alternativo. (Elaboración propia, 2024).....	
Figura 16. Ubicación de levantamiento de muro (Fotografía propia, 2024).	75
Figura 17. Cepa de 0.40 metros de profundidad y 0.30 metros de ancho (Fotografía propia, 2024).....	76
Figura 18. Colocación de plástico negro, y colocación de aceros horizontales para cimentación (Fotografía propia, 2024).	77
Figura 19. Colocación de PMS (Fotografía propia, 2024).	78
Figura 20. Categorías evaluadas por la cuadrilla (Elaboración propia, 2024).....	81
Figura 21. Mapeo de ambos sistemas en cuestión de tiempo, practicidad y curva de aprendizaje (Elaboración propia, 2024).	114

Índice de tablas

Tabla 1. Desperdicios en la producción tomada de Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry (Al-Aomar, 2012).	34
Tabla 2. Fases dentro del proceso de producción de vivienda social, respecto al orden de aparición. (Elaboración propia).	35
Tabla 3. Fases dentro del proceso de producción de vivienda social, respecto al tiempo aproximado de duración. (Elaboración propia).....	35
Tabla 4. Resultados codificados del albañil número 1, encuesta de validación, el número 1 corresponde al sistema constructivo tradicional por confinamiento de tabique y el 2 al sistema constructivo alternativo PMS (Elaboración propia, 2024).	83
Tabla 5. Resultados codificados del albañil número 2, encuesta de validación, el número 1 corresponde al sistema constructivo tradicional por confinamiento de tabique y el 2 al sistema constructivo alternativo PMS (Elaboración propia, 2024).	84
Tabla 6. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem calidad (Elaboración propia, 2024).	86
Tabla 7. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem tiempo (Elaboración propia, 2024).	87
Tabla 8. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem de curva de aprendizaje (Elaboración propia, 2024).....	88
Tabla 9. Tiempo en minutos de producción de muro prototipado en el sistema constructivo tradicional (Elaboración propia, 2024).	
Tabla 10. Tiempo en minutos de producción de muro prototipado en el sistema constructivo alternativo PMS (Elaboración propia, 2024).	

Índice de gráficas

Gráfica 1. Resultados codificados de encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).....	83
Gráfica 2. Resultados codificados de encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).....	84
Gráfica 3. Resultados de picos de coincidencia en la encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).....	85

Abreviaturas y Siglas

VIS: Vivienda de Interés Social

SCT: Sistema Constructivo Tradicional

SCTc: Sistema Constructivo Tradicional por confinamiento

SCA: Sistema Constructivo Alternativo

IECSC: Instrumento de Evaluación Comparativa de Sistema Constructivo

PMS: Panel Modular en Sitio

DD: Doble Diamante

INFONAVIT: Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores

FONHAPO: Fondo Nacional de Habitaciones Populares

CONAVI: Comisión Nacional de Vivienda

SEDATU: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

ENVI: Encuesta Nacional de Vivienda

NTC: Normas Técnicas Complementarias

NOM: Norma Oficial Mexicana

RESUMEN

La presente investigación surge en el contexto de una crisis estructural de vivienda en México, caracterizada por un crecimiento urbano descontrolado y una producción habitacional que, en su afán de atender la demanda masiva, ha generado un fenómeno contradictorio: el superávit habitacional. Este se manifiesta en la existencia de viviendas construidas, pero no habitadas, debido a su baja calidad, ubicación inadecuada o falta de condiciones de habitabilidad. Ante esta problemática, se propone la aplicación de un sistema constructivo alternativo, el PMS (Panel Modular en Sitio), como estrategia para optimizar el tiempo de ejecución de vivienda de interés social (VIS), sin comprometer la calidad. La metodología empleada se basa en el modelo del Doble Diamante del Design Council UK, complementado con principios de Lean Construction y prácticas eficientes de planificación y supervisión. La investigación incluyó fases experimentales que abarcaron desde la exploración de elementos constructivos individuales hasta la construcción completa de un prototipo funcional, permitiendo observar empíricamente el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de obra. Los resultados indican que, a diferencia del sistema tradicional, el sistema PMS permite una reducción significativa en los tiempos de ejecución, mejora la replicabilidad operativa y presenta una curva de aprendizaje favorable. Además, su implementación no solo atiende el problema del tiempo, sino que contribuye a elevar el estándar técnico de la vivienda producida, mitigando así las condiciones que alimentan el superávit habitacional. Esta investigación concluye que la solución al déficit habitacional no radica únicamente en producir más, sino en construir mejor y más eficientemente, con estrategias integrales e innovadoras que respondan a las exigencias del contexto urbano contemporáneo.

(Palabras clave): Crisis de vivienda, superávit habitacional, sistema constructivo PMS, eficiencia constructiva, vivienda social.

ABSTRACT

This research emerges within the context of a structural housing crisis in Mexico, characterized by uncontrolled urban growth and a housing production model which, in its effort to meet massive demand, has paradoxically generated a phenomenon of housing surplus. This surplus is evident in the existence of built but uninhabited dwellings, resulting from poor construction quality, inadequate location, or the absence of basic habitability conditions. In response to this issue, the study proposes the implementation of an alternative construction system, known as PMS (Panel Modular on Site), as a strategy to optimize construction time for social housing (VIS) without compromising quality. The methodology is grounded in the Double Diamond framework from the UK Design Council, enriched with principles from Lean Construction and efficient planning and supervision practices. The research involved experimental phases ranging from isolated structural elements to the complete construction of a functional prototype, enabling empirical observation of the system's performance under real-world site conditions. The results show that, unlike traditional systems, PMS significantly reduces execution time, improves operational replicability, and presents a favorable learning curve. Moreover, its implementation addresses not only the issue of time but also contributes to raising the technical standard of the housing produced, thus mitigating the conditions that contribute to housing surplus. The study concludes that solving the housing deficit requires not merely producing more units, but building better and more efficiently, through integral and innovative strategies that meet the demands of the contemporary urban context.

(Keywords): Housing crisis, housing surplus, PMS construction system, construction efficiency, social housing.

INTRODUCCIÓN

La crisis de vivienda en México constituye un fenómeno estructural persistente que afecta de forma directa el desarrollo social, económico y urbano del país. A pesar de los esfuerzos institucionales y de las políticas implementadas en décadas recientes, el acceso efectivo a una vivienda adecuada continúa siendo un derecho vulnerado para millones de personas. Esta situación, como lo señala Forbes (2022), tiene implicaciones profundas en la calidad de vida, el bienestar social y la integración territorial de la población. El problema no se limita únicamente a la carencia cuantitativa de viviendas, sino a la calidad, funcionalidad, localización y permanencia de las mismas, factores que inciden directamente en la habitabilidad real del parque habitacional nacional.

El acceso a una vivienda digna es un derecho humano fundamental reconocido internacionalmente, y su negación representa una violación estructural a los derechos sociales (CNDH, 2018). Sin embargo, la atención institucional a esta problemática ha sido parcial, centrada muchas veces en la producción masiva de unidades habitacionales sin el acompañamiento de estándares adecuados de diseño, durabilidad o integración comunitaria. Esta estrategia, dominada por el uso de sistemas constructivos tradicionales, ha resultado insuficiente frente al crecimiento urbano acelerado, generando fenómenos como el abandono habitacional, la informalidad y el superávit habitacional —una paradoja en la que existen viviendas construidas, pero no habitadas ni funcionales.

A pesar del avance tecnológico en el ámbito de la construcción, la adopción de sistemas constructivos innovadores sigue siendo marginal. Esta resistencia al cambio, como lo advierte Salas (2016), es consecuencia de barreras culturales, desconocimiento técnico y una fuerte inercia institucional hacia métodos convencionales. Tal resistencia se ha convertido en un obstáculo significativo para la transformación profunda del sector. La inercia hacia lo tradicional impide la implementación de sistemas más eficientes, sostenibles y adaptables, que podrían

no solo reducir los tiempos de producción, sino también elevar los niveles de calidad habitacional.

Frente a este escenario, la necesidad de acelerar los procesos constructivos para responder a la creciente demanda de vivienda social entra en tensión con la garantía de calidad, generando una disyuntiva crítica: producir más rápido o producir mejor. Sin embargo, esta dicotomía puede superarse mediante la adopción estratégica de sistemas constructivos alternativos, los cuales ofrecen ventajas en eficiencia operativa, control de calidad, modularidad y replicabilidad, sin comprometer la habitabilidad ni los valores estructurales del producto final. La presente investigación parte de esta premisa y propone evaluar la implementación de un sistema constructivo alternativo como herramienta para optimizar el tiempo de producción de vivienda social, sin sacrificar la calidad constructiva, habitacional ni social.

II. Antecedentes

2.1 La crisis habitacional en América Latina

La crisis habitacional en América Latina constituye una de las expresiones más complejas de la desigualdad estructural que caracteriza a la región. Según ONU-Habitat (2020), aproximadamente el 45% de la población urbana latinoamericana vive en condiciones de informalidad o precariedad habitacional, lo que evidencia un déficit estructural que no solo se expresa en la falta de viviendas, sino en la inadecuación de las existentes. Este déficit coexiste paradójicamente con un número creciente de viviendas deshabitadas, fenómeno que ha sido documentado como superávit habitacional y que responde, en muchos casos, a viviendas construidas en zonas periféricas, sin servicios básicos o con materiales de baja durabilidad (ONU-Habitat, 2016). Esta situación refleja los límites del modelo tradicional de producción de vivienda, centrado en grandes desarrollos masivos sin planificación urbana integral ni mecanismos efectivos de control de calidad (ONU-Habitat, 2020). En este contexto, la vivienda pierde su función social y se convierte en un bien desconectado de la vida comunitaria, lo que atenta contra el principio fundamental establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de Naciones Unidas (1991), que define el derecho a una vivienda adecuada como un derecho humano esencial, inseparable de la dignidad y el bienestar de las personas. En consecuencia, abordar el problema habitacional en América Latina exige ir más allá del conteo de unidades construidas y centrarse en el cumplimiento de criterios de habitabilidad, accesibilidad, localización y sostenibilidad.

2.2 La crisis habitacional en México

La crisis habitacional en México es un fenómeno estructural y multidimensional que ha persistido a lo largo de las últimas décadas, reflejando profundas desigualdades socioespaciales y deficiencias en las políticas públicas de vivienda. A pesar de que

la vivienda es reconocida como un derecho humano fundamental por la Constitución Mexicana y diversos tratados internacionales, millones de personas en el país viven en condiciones inadecuadas, de hacinamiento, sin servicios básicos o con riesgo estructural (CNDH, 2018). Según datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2020), más de 25 millones de personas enfrentan al menos una carencia por calidad y espacios de la vivienda o por acceso a servicios básicos en la vivienda, lo que refleja una crisis no solo cuantitativa, sino cualitativa.

Este fenómeno se ve agravado por la coexistencia de un déficit habitacional; entendido como la necesidad insatisfecha de vivienda digna con un creciente superávit habitacional, es decir, el número de viviendas construidas, pero no habitadas. De acuerdo con el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT, 2021), existen en el país más de 5 millones de viviendas deshabitadas, muchas de las cuales han sido abandonadas poco tiempo después de su ocupación inicial. Este hecho no solo evidencia fallas en los criterios de ubicación y diseño de los desarrollos, sino que también cuestiona la efectividad de las estrategias de producción masiva de vivienda implementadas durante los últimos sexenios.

La producción habitacional en México ha estado históricamente vinculada a un modelo industrial de desarrollo urbano periférico, donde la prioridad ha sido la cantidad sobre la calidad. Este modelo, caracterizado por grandes conjuntos habitacionales uniformes, de rápida ejecución, pero escasa integración urbana, ha contribuido al aislamiento social, la fragmentación territorial y la pérdida de valor de uso de la vivienda (Monkkonen, 2012). En muchos casos, los desarrollos fueron ejecutados en terrenos alejados de los centros urbanos, sin acceso a transporte, servicios, empleo o equipamiento comunitario, lo que ha llevado al abandono masivo de viviendas y al deterioro acelerado de los entornos construidos (ONU-Habitat, 2016).

Esta situación contradice frontalmente el enfoque de derechos humanos que establece que toda persona debe tener acceso a una vivienda adecuada, que no se limita al resguardo físico, sino que implica habitabilidad, seguridad jurídica, localización adecuada, accesibilidad y adecuación cultural (ONU, 1991). La política pública, al centrarse en metas cuantitativas, ha desatendido estas dimensiones fundamentales, perpetuando la exclusión habitacional de los sectores más vulnerables.

En suma, la crisis habitacional en México no puede ser explicada únicamente por la escasez de viviendas, sino por un modelo de producción desarticulado del entorno social, territorial y humano. Esta crisis, a la vez silenciosa y visible, exige una reconceptualización profunda del papel del Estado, del sector privado y de los instrumentos técnicos empleados en la producción de vivienda. Abordarla requiere no solo mayor inversión, sino transformaciones metodológicas, tecnológicas y éticas en el modo en que concebimos, diseñamos y construimos el hábitat social.

2.3 Surgimiento de la vivienda social en México

La vivienda social en México surge a principios del siglo XX, ante la necesidad de brindar vivienda digna y asequible a la creciente clase obrera del país. En el periodo 1940-1970 fue el periodo de mayor crecimiento en las ciudades del país, principalmente en la capital, y es precisamente en ese periodo que surgieron los conjuntos de vivienda social más representativos de México, como el Multifamiliar Miguel Alemán (1947), el conjunto Nonalco Tlateloco (1958), y la Unidad Habitacional Mixcoac (1967), entre otros (Ramírez & Ríos, 2021).

Siendo los proyectos que marcarían el inicio de más proyectos habitacionales en México que buscaban solucionar el problema de la vivienda. Existe un claro cambio en el perfil socioeconómico de los beneficiados atendidos a vivienda social generando preocupación, ya que hay indicios claros que la nueva política

habitacional está dejando fuera del acceso a una vivienda adecuada a las familias más pobres (Villavicencio & Durán, 2003).

2.3.1 Características de la vivienda social en México

El desarrollo de políticas de vivienda social en México ha estado a cargo de un conjunto de organismo públicos que no necesariamente se coordinan entre sí para brindar soluciones habitacionales a la población de bajos recursos en todo el país (Herrera, 2010).

Las características de esa tipología habitacional en México son, entre otras, las siguientes: contar de 42 a 76 metros cuadrados de superficie edificada; un programa arquitectónico que incluye cocina-comedor, 1 a 2 recámaras, 1 baño,

1 lugar de estacionamiento y todos los servicios básicos. En teoría estas características en conjunto darían como resultado que la familia mexicana dispusiera de una vivienda digna, con las medidas mínimas para poder realizar sus actividades íntimas y privadas a un bajo costo (Herrera, 2010).

2.4 Contexto socio-tecnológico de la vivienda en México

El sistema socio-tecnológico de la vivienda en México se configura como una compleja interacción entre los aspectos sociales, económicos y tecnológicos que determinan la forma en que se produce, distribuye y accede a la vivienda en el país. Este sistema abarca no solo los procesos constructivos y los avances tecnológicos en la edificación, sino también las condiciones socioeconómicas de la población, las políticas públicas en torno al acceso a la vivienda y las dinámicas del mercado inmobiliario. En este contexto, las tecnologías de la construcción juegan un papel crucial, ya que son los medios a través de los cuales se optimizan los tiempos de producción, los costos y la calidad de las viviendas, especialmente en un país con un alto déficit habitacional y un ritmo de urbanización acelerado. En la Figura 1 se

muestra un diagrama de como son las interacciones entre aspectos sociales, económicos y tecnológicos.

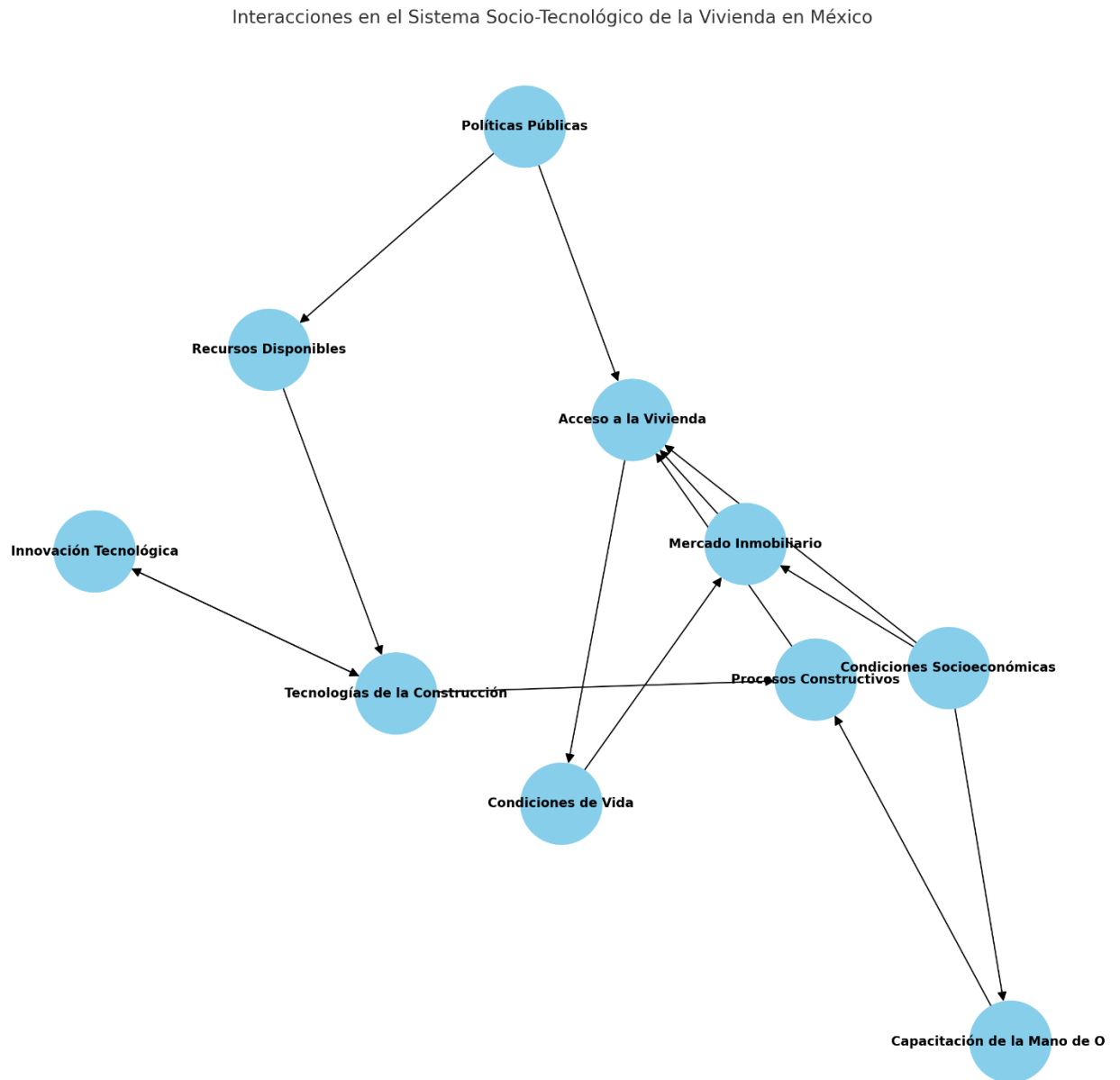


Figura 1. Diagrama de interacciones socio-tecnológicas de la vivienda en México (Elaboración propia, 2024).

La adopción de nuevas tecnologías, como los sistemas constructivos modulares o alternativos, se presenta como una respuesta a las limitaciones del modelo tradicional, que ha sido históricamente lento y costoso. Sin embargo, la integración de estas tecnologías debe considerar las particularidades del contexto social mexicano, donde factores como la disponibilidad de recursos, la capacitación de la mano de obra y la aceptación de nuevas soluciones constructivas por parte de los actores involucrados, son determinantes clave en el éxito de cualquier estrategia innovadora. Además, el sistema socio-tecnológico de la vivienda en México también involucra un equilibrio entre las necesidades habitacionales de la población y las políticas gubernamentales que buscan incentivar el acceso a una vivienda digna, lo que requiere la constante evolución de las prácticas constructivas en función de la demanda social y las capacidades tecnológicas disponibles. Este enfoque integral no solo busca la eficiencia en los procesos constructivos, sino también la mejora de las condiciones de vida de los ciudadanos, adaptándose a los retos sociales y económicos de cada región.

2.4 Modelos históricos de producción de vivienda social

La evolución de la vivienda social en México ha estado profundamente condicionada por los modelos económicos y políticos de cada época, dando lugar a distintas estrategias institucionales que han oscilado entre enfoques progresivos, centrados en la autoconstrucción asistida, hasta modelos industriales de producción masiva. En este trayecto, organismos como el INFONAVIT, FONHAPO y la CONAVI han jugado roles clave en la definición de políticas públicas que han determinado no solo los mecanismos de financiamiento y acceso a la vivienda, sino también las lógicas técnicas y espaciales de su producción (Schteingart, 2001; Monkkonen, 2012). La política habitacional mexicana ha transitado de un enfoque centrado en la vivienda como proceso, con participación activa del usuario, hacia uno basado en la estandarización, rapidez y replicabilidad del producto construido, bajo el supuesto de atender de forma inmediata el déficit habitacional.

2.4.1 Transición de la vivienda progresiva a la vivienda estandarizada

Durante las décadas de 1970 y 1980, el Estado promovió un modelo de vivienda progresiva, entendido como una estrategia que permitía a las familias construir su vivienda por etapas, con apoyo técnico y financiamiento público. Programas como los de FONHAPO y PRONASOL buscaban reconocer la capacidad constructiva de las familias y su derecho a autogestionar su espacio (García Peralta, 1997). Sin embargo, con las reformas estructurales de los años 90 y la entrada del modelo neoliberal en la política urbana, este enfoque fue reemplazado por un modelo de vivienda estandarizada, donde los desarrolladores privados asumieron el rol protagónico en la producción, y el Estado se convirtió en financiador y facilitador del suelo y los créditos (Schteingart & Moctezuma, 2006).

2.4.2 Actualidad de la producción de vivienda social en México

La actualidad de la construcción de vivienda social en México es un tema de gran relevancia debido a la creciente demanda de viviendas asequibles y la necesidad de abordar la problemática de vivienda en la sociedad mexicana. Enfrentándose a desafíos significativos como la baja accesibilidad a créditos, ubicación de las viviendas y calidad de las construcciones (Cervera, 2019).

La producción y construcción de vivienda son fundamentales para impulsar el crecimiento social y económico en el país, generando empleo y contribuyendo a la formación del patrimonio de las familias, al mismo tiempo que ayudan a reducir las desigualdades y mejorar la calidad de vida de la población (Cervera, 2019)

Sin embargo, los desafíos presupuestarios y la urgencia por satisfacer la demanda a veces han llevado a que la producción de vivienda que carezca de calidad y seguridad (CONEVAL, s.f.).

A pesar de la urgencia por satisfacer la demanda, es crucial analizar en conjunto la velocidad de construcción con los estándares de calidad para garantizar la durabilidad y seguridad de las viviendas (Salas, 2016).

2.5 Retos del crecimiento urbano y la presión sobre el sector construcción

El crecimiento urbano en América Latina, pero principalmente en México, ha experimentado un proceso acelerado, fragmentado y altamente desigual, lo que ha impuesto una presión sin precedentes sobre el sector construcción, tanto en términos de cobertura como de calidad. El incremento de la población urbana, la expansión territorial desarticulada y la urbanización sin planificación adecuada han llevado a un modelo urbano insostenible que compromete la capacidad institucional y técnica de los actores involucrados en la producción del hábitat. De acuerdo con ONU-Habitat (2020), el 81% de la población latinoamericana ya vive en ciudades, y se espera que esta cifra continúe en aumento. Esta tendencia intensifica la necesidad de sistemas de construcción más rápidos, eficientes y adaptables, capaces de responder a la creciente demanda sin sacrificar los criterios esenciales de calidad, habitabilidad y sostenibilidad.

2.5.1 Crecimiento urbano descontrolado y disperso

En las últimas décadas, las ciudades mexicanas han crecido extensamente hacia la periferia, frecuentemente sobre suelos baratos pero carentes de infraestructura, servicios y conectividad. Este modelo expansivo de urbanización horizontal ha sido impulsado en parte por la lógica del mercado inmobiliario y la especulación del suelo, generando un patrón disperso y de baja densidad urbana (Sedesol, 2012). Como resultado, el Estado ha perdido la capacidad de gestionar de manera eficiente el crecimiento urbano, dando paso a zonas urbanas fragmentadas, ambientalmente vulnerables y socialmente excluyentes. El fenómeno del "manchón urbano" se traduce en altos costos de infraestructura y movilidad, pero también en una distribución inequitativa del acceso a la vivienda adecuada (SEDATU, 2020).

2.5.2 Superación de la capacidad de respuesta constructiva

El sector construcción ha visto superada su capacidad para responder con eficacia y rapidez a las exigencias del crecimiento urbano. El sistema tradicional de

producción de vivienda, basado en procesos manuales, secuenciales y con baja tecnificación, presenta limitaciones evidentes para satisfacer la demanda habitacional en plazos razonables (Bouillon, 2012). Este rezago se traduce en demoras significativas en la entrega de viviendas, cuellos de botella logísticos, y una alta dependencia de mano de obra informal y poco capacitada, lo que reduce la productividad y compromete los estándares de calidad (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC], 2021). Frente a este panorama, la adopción de sistemas constructivos alternativos y tecnologías de producción más eficientes se vuelve no solo deseable, sino urgente.

2.5.3 Implicaciones del crecimiento para planeación, tiempos y control de calidad

El crecimiento urbano acelerado ha tenido efectos adversos directos en la planeación urbana, los cronogramas de obra y los mecanismos de control de calidad. La urgencia por construir rápido para atender la presión demográfica ha incentivado prácticas de planificación reactivas, más que preventivas, con escasa coordinación entre los niveles de gobierno y los desarrolladores. Como consecuencia, los proyectos suelen arrancar sin estudios integrales de impacto urbano ni mecanismos robustos de evaluación de calidad constructiva (Pérez Campuzano & Hidalgo, 2017). Además, el acortamiento de plazos constructivos y la presión financiera generan un entorno donde los procesos de supervisión se vuelven laxos o meramente formales, lo cual incrementa la probabilidad de errores estructurales, deficiencias de acabados y problemas de habitabilidad a corto plazo (ONU-Habitat, 2016). La falta de alineación entre la expansión territorial y la capacidad técnica instalada genera una inconformidad crítica que solo puede enfrentarse mediante la implementación de estrategias de planeación integradas y el uso de metodologías constructivas más ágiles y controlables.

2.6 Contribución de la vivienda al cumplimiento de la Agenda 2030

La vivienda es un elemento fundamental para el desarrollo social y económico de cualquier país, y su importancia se refleja en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, que establece como uno de sus objetivos el acceso a una vivienda adecuada y asequible para todos. Además, se puede generar una contribución a los siguientes objetivos:

Objetivo 1. Fin de la pobreza: La vivienda promueve condiciones para aliviar la pobreza extrema (ONU-Habitat, 2019a).

Objetivo 3. Salud y bienestar: Las viviendas con instalaciones adecuadas de calefacción, ventilación y espacio suficiente contribuyen de manera directa a la reducción de enfermedades (meta 3.3) y al bienestar físico y mental de sus ocupantes (meta 3.4) (ONU-Habitat, 2019a).

Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante: La vivienda sostenible tiene atributos para el uso racional de la energía. Cuando las viviendas cuentan con tecnologías para un uso eficiente de los recursos se contribuye a lograr un acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos (meta 7.1) (ONU-Habitat, 2019a).

Objetivo 9. Innovación e infraestructura: Cuando la vivienda se construye de manera innovadora, sostenible y segura, y se favorece la inclusión de la pequeña industria en el sector, se contribuye directamente al cumplimiento de la (meta 9.3) (ONU-Habitat, 2019a).

Objetivo 12. Producción y consumos responsables: La vivienda construida a partir de materiales y tecnologías de construcción sostenibles favorece el cumplimiento de la meta (12.1) (ONU-Habitat, 2019a).

2.6.1 La vivienda en el centro de los ODS en México

La falta de vivienda representa un problema central en la sociedad, ya que su solución impacta en diversas áreas. Según la ONU-Habitat (2019), al menos el 38.4% de la población mexicana reside en viviendas inadecuadas. Favorecer el

acceso de los grupos vulnerables a viviendas adecuadas implica adaptar soluciones habitacionales a las necesidades específicas de la población. La vivienda social desempeña un papel crucial en la consecución de este objetivo, ya que está dirigida a sectores poblacionales poco favorecidos y busca proporcionar una solución habitacional asequible y de calidad (ONU-Habitat, 2019a).

2.7 Medición de pobreza, calidad y espacios de la vivienda

La CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda) se basa en criterios para medir la pobreza con base en la vivienda establece dos subdimensiones el material de construcción y la calidad espacial, es decir si el habitante no cuenta con una vivienda que cumpla o se encuentre dentro de los estándares de calidad, se le denomina en algún nivel del 1-3, esto dependiendo de lo que le haga falta para tener una calidad óptima de vivienda (CONEVAL, s.f.).

Los niveles del 1-3 hacen referencia a la medición de la pobreza por medio de la vivienda. Siendo el nivel 1 el más bajo. (CONEVAL, s.f.) Como se muestra en la Figura 2.

SUBDIMENSIÓN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

NIVEL 3:

El material de los pisos de la vivienda es de cemento (sin la resistencia adecuada). El material del techo es de un cemento que está por debajo de los estándares de calidad y seguridad. El material de los muros es de tabique rojo recocido. La razón de personas por cuarto no es mayor a 2.

NIVEL 2:

El material de los pisos de la vivienda es de tierra. El material del techo de la vivienda es de lámina reciclada, El material de los muros de la vivienda es de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto. La razón de personas por cuarto no es mayor a 2.5.

NIVEL 1:

El material de los pisos de la vivienda es de tierra. El material del techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos. El material de los muros de la vivienda es de barro o bajareque; o material de desecho. La razón de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor que 2.5.

Figura 2. Niveles de medición de pobreza. (Elaboración propia, datos de CONEVAL, s.f.).

2.7.1 Encuesta Nacional de Vivienda. Presentación de resultados

En el año del 2020 se llevó a cabo una encuesta para estimar datos importantes acerca de la vivienda en México, entre los datos destacan los siguientes: En México existen 35.3 millones de viviendas (ENVI, 2020). Pero, también existe un déficit de vivienda de 8.2 millones (ENVI, 2020).

2.8 Precios de la vivienda en México, tercer trimestre de 2024

El precio de la vivienda es un tema de gran importancia en México, ya que la falta de acceso a una vivienda adecuada y asequible es un problema que afecta a una gran parte de la población. Situado en un promedio de 671 mil pesos, durante el tercer trimestre de 2024 (Gobierno de México, 2024).

A pesar de el alto costo que tiene en este año, estimaciones de la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), establecen que, a inicios del tercer trimestre del 2024, supere la barrera de los 700 mil pesos (Gobierno de México, 2024).

III. Fundamentación teórica

3.1 Definición de vivienda

La vivienda se refiere a una zona definida por paredes gruesas de albañilería a las que se les conoce como muros y cubiertas fabricadas con diversos materiales, diseñada para ser habitada por individuos con el propósito de residir, descansar, cocinar, comer y resguardarse de las condiciones ambientales (INEGI, 2020).

3.2 Concepto de vivienda social

Se entiende como vivienda social, a aquellas viviendas que se ofrecen en el mercado a precios considerablemente más bajos, lo que permite su acceso a grupos específicos con ingresos económicos determinados (Hermida et al., 2020).

La realidad es que, la construcción de viviendas sociales se orienta principalmente hacia personas y familias con ingresos medios, lo que significa que aquellos con ingresos más bajos todavía enfrentan dificultades de vivienda en las áreas marginadas de las ciudades (Hermida et al., 2020).

La vivienda de carácter social se caracteriza por tener costos de renta o venta que no se determinan en función del mercado, sino con base a la capacidad financiera de los que habitan. En cuanto a la renta, esta modalidad puede ser proporcionada tanto por entidades privadas como por el gobierno (de Lapuerta & Mosayebi, 2018).

3.3 Definición de superávit habitacional

El concepto de superávit habitacional se refiere a la existencia de un número significativo de viviendas construidas que no están habitadas ni cumplen su función social, lo cual contradice el principio básico del derecho a una vivienda adecuada. A diferencia del déficit habitacional, que expresa la carencia de viviendas en cantidad o calidad, el superávit pone en evidencia una distorsión estructural del mercado y de las políticas públicas, donde las unidades producidas no se traducen en soluciones habitacionales efectivas (ONU-Habitat, 2016).

En el contexto mexicano y latinoamericano, el superávit habitacional está estrechamente vinculado a la lógica de producción masiva de vivienda social, impulsada por metas cuantitativas y criterios de eficiencia financiera más que por la integración urbana, la calidad habitacional o las necesidades de los usuarios. De acuerdo con el Informe del Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe (ONU-Habitat, 2012), muchas viviendas construidas en las periferias urbanas bajo programas públicos o subsidios han sido abandonadas o nunca habitadas debido a

su ubicación remota, falta de servicios básicos, escasa conectividad, o baja calidad constructiva.

Este fenómeno ha sido documentado en estudios como el de Monkkonen (2012), quien señala que en México más de 5 millones de viviendas están deshabitadas, muchas de ellas resultado de programas federales de vivienda impulsados entre 2001 y 2012. INFONAVIT, en su propio diagnóstico, reconoce que “el abandono habitacional no es solo un problema de ocupación, sino de pertinencia, acceso y funcionalidad de la vivienda” (INFONAVIT, 2021). En este sentido, una vivienda construida pero no habitada no puede considerarse una solución efectiva, y por tanto no debe contabilizarse como cobertura real.

El superávit habitacional representa, además, un problema de sostenibilidad urbana: estos inmuebles vacíos suelen deteriorarse rápidamente, generar focos de inseguridad y degradación del entorno, y traducirse en una pérdida de valor económico, social y territorial. Por ello, el concepto de superávit no solo alude a un excedente físico, sino a un fallo sistémico en la planeación, diseño y gestión de la vivienda, que desconecta la oferta inmobiliaria de las dinámicas reales del hábitat.

3.4 Tiempo y calidad como ejes en la producción de vivienda

En el contexto actual de crisis habitacional, el tiempo de ejecución y la calidad habitacional se han convertido en dos ejes críticos e interdependientes para garantizar soluciones efectivas y sostenibles en la producción de vivienda social. El desafío contemporáneo no radica únicamente en construir más, sino en construir mejor y más rápido, sin comprometer los estándares técnicos, normativos y humanos que definen la habitabilidad. Diversos organismos internacionales han señalado que la urgencia por atender el déficit habitacional mediante modelos de alta velocidad productiva ha generado externalidades negativas como baja durabilidad, abandono temprano, y entornos urbanos precarios (ONU-Habitat, 2020). Por ello, entender cómo se articulan tiempo y calidad en la producción de

vivienda es fundamental para diseñar modelos más eficientes, equitativos y centrados en el usuario.

3.4.1 Relación entre aceleración de obra y calidad habitacional

La aceleración del proceso constructivo ha sido promovida como respuesta a la presión demográfica y la necesidad de cubrir el déficit habitacional. Sin embargo, cuando esta aceleración se implementa sin una planificación técnica rigurosa ni herramientas de control de procesos, puede traducirse en fallas constructivas, errores de ejecución, y condiciones de habitabilidad deficientes (Bouillon, 2012). La literatura especializada en vivienda social documenta que los desarrollos masivos que privilegian la rapidez suelen presentar problemas de ventilación, iluminación, aislamiento térmico y distribución espacial (Pérez Campuzano & Hidalgo, 2017), lo cual impacta negativamente la salud, seguridad y bienestar de los habitantes. Así, el reto no es acelerar per se, sino acelerar con calidad, mediante metodologías como Lean Construction y sistemas constructivos innovadores que permitan un control integral del proceso sin sacrificar resultados.

3.4.2 Impacto del tiempo de ejecución en costos, habitabilidad y ocupación

El tiempo de ejecución tiene una influencia directa sobre los costos de producción, tanto en términos financieros como sociales. Una obra prolongada implica mayores gastos en mano de obra, materiales, supervisión, y financiamiento, lo que puede limitar la viabilidad económica del proyecto (CMIC, 2021). Por el contrario, una ejecución ágil y bien planificada permite optimizar recursos y reducir la incertidumbre asociada a la obra civil. Además, el tiempo de entrega condiciona la ocupación oportuna de la vivienda, evitando que los inmuebles permanezcan vacíos durante largos periodos, lo cual aumenta el riesgo de vandalismo, deterioro y abandono (INFONAVIT, 2021). La habitabilidad también se ve afectada cuando los plazos reducidos llevan a omitir acabados esenciales o instalaciones clave,

generando soluciones incompletas que requieren inversión posterior por parte del usuario (ONU-Habitat, 2016).

3.4.3 La calidad como variable para evitar el superávit habitacional

La calidad de la vivienda, por su adecuación normativa, técnica, espacial y contextual, se ha identificado como un factor determinante para reducir el abandono y el fenómeno del superávit habitacional. Estudios como los de Monkkonen (2012) y ONU-Habitat (2016) han demostrado que una proporción significativa de las viviendas no habitadas en México y América Latina fueron desocupadas por deficiencias constructivas, mala ubicación o escasa integración urbana. Esto sugiere que la calidad no solo es un atributo técnico, sino una condición para la permanencia y el uso efectivo del bien habitacional. Invertir en calidad, aunque pueda implicar mayores costos iniciales, tiene un impacto positivo en la sostenibilidad urbana, la recuperación de valor social y la garantía de derechos habitacionales a largo plazo (ONU, 1991).

3.5 Estrategias aplicables a la gestión de proyectos de construcción

En la gestión de proyectos de construcción, es fundamental implementar diversas estrategias para garantizar el éxito y la eficiencia en la ejecución de las obras. Al definir y formalizar los procesos, se establece un marco de trabajo claro que ayuda a reducir riesgos, mejorar la calidad del trabajo y optimizar el uso de recursos. Asimismo, mantener un flujo de comunicación efectivo con todas las partes involucradas en el proyecto es esencial para garantizar la transparencia y la coordinación entre los equipos. Realizar inspecciones de supervisión de obra periódicas permite identificar posibles desviaciones, corregir errores a tiempo y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad. La utilización de herramientas y software especializados en gestión de proyectos facilita la planificación, el seguimiento y la toma de decisiones ágiles durante la ejecución del proyecto. Por último, contar con sistemas automatizados para la generación de

informes agiliza el proceso de reporte y permite una mejor gestión de la información relevante para el proyecto. Estas estrategias son clave para mejorar la eficiencia, la comunicación y el control en los proyectos de construcción (Saenz, 2012).

3.5.1 Lean Construction

El término "lean" se originó en Japón a finales de los años 50 y principios de los 60, como resultado de las investigaciones realizadas por ingenieros de Toyota Motor Corporation. El ingeniero Taiichi Ohno fue uno de los pioneros en esta área, buscando eliminar desperdicios y mejorar los tiempos de entrega de automóviles. Esto dio lugar al desarrollo de la "producción Lean" o "producción sin pérdidas", que se centró en minimizar los desperdicios en el proceso de producción. El enfoque se expandió a otros campos, incluida la construcción, donde Lauri Koskela comenzó a implementar estos principios en 1992. Glenn Ballard también contribuyó al adaptar la producción Lean al sector de la construcción, creando el Grupo Internacional de Lean Construction en 1993. Posteriormente, Ballard desarrolló el Sistema Último Planificador (SUP) y el Sistema de Entrega de Proyectos Lean. En 1997, Ballard y Greg Howell fundaron el Lean Construction Institute para difundir conocimientos sobre gestión de proyectos Lean. En Latinoamérica, países como Brasil, Chile, Perú y Colombia han mostrado avances en el uso de Lean Construction, con investigaciones lideradas por instituciones académicas y organizaciones del sector privado (Forbes, 2011).

Según el Instituto Lean Construction (ILC), Lean Construction es una filosofía que se centra en la gestión de la producción en la industria de la construcción. Su principal objetivo es reducir o eliminar las actividades que no aportan valor al proyecto y optimizar aquellas que sí lo hacen. Por lo tanto, se dedica principalmente a desarrollar herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y a establecer un sistema de producción eficiente que minimice los desperdicios. En el contexto de Lean Construction, los "desperdicios" se refieren a todo aquello que no contribuye al valor de las actividades necesarias para completar

una unidad productiva. Esta filosofía clasifica los desperdicios de construcción en siete categorías distintas, como se ilustra en la Tabla 1 (Al-Aomar, 2012).

Desperdicios en la construcción
Defectos
Demoras
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Tabla 1. Desperdicios en la producción tomada de Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry (Al-Aomar, 2012).

3.5.2 Planificación de un proyecto de construcción basado en Lean Construction

Se realiza con el objetivo principal de definir y validar el trabajo a realizar para cumplir con cada punto clave dentro de la obra. (Pons & Rubio, 2019). En esta planificación (Tabla 2) participan todos los responsables de cada actividad y áreas funcionales del proyecto, siendo fundamental la alineación de objetivos y estrategias para la correcta ejecución de cada fase, se establecen a su vez los objetivos complementarios: Análisis de riesgos del proyecto. Definición de la estrategia de trabajo a seguir. Identificación de recursos críticos (equipos materiales, mano de obra). Coste de las actividades y totales por cada subcontrata. Tiempo de producción de obra civil.

PLAN DE FASES	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5	FASE 6	FASE 7	FASE 8
PRELIMINARES								
EXCAVACIÓN								
CIMENTACIÓN								
ESTRUCTURA								
ALBAÑILERÍA								
INSTALACIONES								
ACABADOS								
LIMPIEZA								

Tabla 2. Fases dentro del proceso de producción de vivienda social, respecto al orden de aparición. (Elaboración propia).

PLAN DE FASES	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5	FASE 6	FASE 7	FASE 8
PRELIMINARES	7 Días							
EXCAVACIÓN		7 Días						
CIMENTACIÓN			7 Días					
ESTRUCTURA				21 Días				
ALBAÑILERÍA					14 Días			
INSTALACIONES						7 Días		
ACABADOS							14 Días	
LIMPIEZA								3 Días

Tabla 3. Fases dentro del proceso de producción de vivienda social, respecto al tiempo aproximado de duración. (Elaboración propia).

3.5.3 Planificación maestra de un proyecto de producción de VIS.

La planificación maestra de un proyecto de producción de Vivienda de Interés Social (VIS) es un proceso crítico que garantiza la eficiencia y eficacia en la entrega de viviendas de calidad. Este proceso implica la integración de todas las etapas del proyecto, desde la concepción y diseño hasta la construcción y entrega final, asegurando que cada fase se complete dentro de los plazos establecidos y con los recursos asignados. Según Ahuja, Dozzi y Abourizk (1994), una planificación efectiva permite identificar y mitigar posibles riesgos, optimizar el uso de materiales y mano de obra, y mejorar la coordinación entre los diferentes actores involucrados en el proyecto. Además, la implementación de técnicas avanzadas de planificación, como el uso de software de gestión de proyectos, puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta ante imprevistos y cambios en el entorno del proyecto (Kerzner, 2013). Por lo tanto, una planificación maestra robusta no solo contribuye

a la optimización del tiempo y recursos, sino que también es fundamental para asegurar la calidad y sostenibilidad de las viviendas producidas.

3.5.4 Capacitación especializada para producción de VIS

La capacitación especializada para la producción de Vivienda de Interés Social (VIS) es un componente esencial para mejorar la calidad y eficiencia en este sector. Según lo propuesto por Fernández-Maldonado y Borja (2018), la formación específica en técnicas de construcción adaptadas a las necesidades y características de la VIS puede aumentar la productividad y reducir los costos asociados a errores y retrabajos. Además, estudios como el de Sáenz-Arroyo et al. (2020) destacan la importancia de programas de capacitación que aborden no solo aspectos técnicos de la construcción, sino también temas relacionados con la gestión de proyectos, normativas vigentes y aspectos socioeconómicos de las comunidades beneficiadas. De esta manera, la capacitación especializada no solo contribuye al desarrollo de habilidades técnicas de los trabajadores, sino que también fortalece su capacidad para enfrentar los desafíos específicos de la producción de VIS en contextos diversos y cambiantes.

3.6 Principales retos en el ejercicio del derecho a vivienda de calidad

Más de la mitad de las personas se encuentra por debajo de la línea de bienestar, lo cual de manera definitiva las coloca en una situación de in-asequibilidad económica para satisfacer su necesidad de vivienda (CONEVAL, 2017). En México existen alrededor de 32 millones de viviendas. De ellas, 68% son propias, 16% son rentadas, 14% son prestadas y 2% está en alguna otra situación. (EIC, 2015). En cuanto al gasto de vivienda en forma de renta, las personas ubicadas en el primer decil de ingreso destinan 61% de su ingreso, mientras que las personas de los siguientes dos deciles destinan 34%, lo que excede el estándar internacional de ONU-Hábitat que es del 30% del total de los ingresos, por lo que se encuentran vulnerando la satisfacción de otras necesidades básicas (ENVI, 2014). En cuanto a

las condiciones generales de la vivienda esta situación se profundiza en el caso de la población indígena, ya que 79.1% de las viviendas de ese grupo de población presentan algún tipo de rezago (EIC, 2015). El 57.9% de la población son los que difícilmente obtengan una vivienda propia. (ENVI, 2019). Y el 24.3% de los mexicanos considera que su vivienda tiene deficiencias constructivas (CONEVAL, 2020).

3.6.1 Elementos de una vivienda adecuada

La Declaración de los Derechos Humanos y el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, establecen la vivienda adecuada como un derecho. La vivienda adecuada va más allá de ser simplemente cuatro paredes y un techo; requiriendo el cumplimiento de 7 elementos esenciales para determinar si una vivienda es adecuada: 1. Seguridad de la tenencia, 2. Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura, 3. Asequibilidad, 4. habitabilidad, 5. Accesibilidad, 6. Ubicación y 7. Adecuación cultural (ONU-Habitat, 2019b) Así como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Elementos de una vivienda adecuada (ONU-Habitat, 2019 b).

- a. **Seguridad de tenencia:** Garantizar protección legal contra amenazas y desalojos (ONU-Habitat, 2019 b).
- b. **Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura:** Incluye acceso a servicios básicos: agua, saneamiento, energía y gestión de residuos (ONU-Habitat, 2019 b).
- c. **Asequibilidad:** La vivienda debe ser asequible, no comprometiendo otros derechos, con gastos de vivienda por debajo del 30% del ingreso (ONU-Habitat, 2019 b).
- d. **Habitabilidad:** Se refiere a condiciones que aseguran seguridad y habitabilidad frente a riesgos físicos y climáticos (ONU-Habitat, 2019 b).
- e. **Accesibilidad:** El diseño debe ser inclusivo, considerando las necesidades de personas marginadas y con discapacidad (ONU-Habitat, 2019 b).
- f. **Ubicación:** La vivienda debe estar bien ubicada, con acceso a servicios y libre de riesgos o contaminación (ONU-Habitat, 2019 b).
- g. **Adecuación cultural:** La vivienda adecuada respeta la identidad cultural en su ubicación (ONU-Habitat, 2019 b).

3.7 Influencia de la optimización de procesos constructivos en programas habitacionales

La optimización de procesos constructivos en el ámbito de la vivienda social representa un eje estratégico para transformar no solo la eficiencia operativa, sino también la calidad y sostenibilidad de los entornos habitacionales. En el contexto de los programas habitacionales públicos y privados, el diseño e implementación de estrategias de producción racionalizadas —que minimicen desperdicios, reduzcan tiempos improductivos y eleven la calidad técnica— se ha convertido en una prioridad frente a los desafíos contemporáneos de déficit, superávit habitacional y expansión urbana desarticulada (ONU-Habitat, 2020).

Desde esta perspectiva, la incorporación de sistemas constructivos no tradicionales ha ganado terreno como una solución viable para acelerar la ejecución sin sacrificar los estándares de habitabilidad. Estos sistemas prefabricados, industrializados,

modulares o híbridos, ofrecen ventajas comparativas respecto al método tradicional (mampostería confinada o concreto colado en sitio), al reducir la dependencia de mano de obra intensiva, permitir una mayor estandarización de procesos, mejorar el control de calidad y optimizar el uso de materiales (Barrantes, 2007; López Moctezuma & Treviño, 2018). En particular, en países como México y Brasil, se han documentado experiencias exitosas de implementación gradual de estos sistemas en programas de vivienda social que demuestran mejoras significativas en los tiempos de ejecución, eficiencia energética, desempeño estructural y adaptabilidad espacial (IDB, 2019).

La racionalización de los procesos constructivos también implica una transformación profunda de la lógica de producción: del enfoque artesanal e improvisado hacia un modelo de gestión técnica basada en datos, planificación anticipada y monitoreo en tiempo real. Ello requiere no solo nuevas tecnologías, sino también una cultura organizacional dispuesta al cambio, capacitación del personal operativo, adecuaciones normativas, y sobre todo, voluntad institucional para asumir la innovación como eje rector de las políticas habitacionales (Villanueva, 2020).

En este sentido, la optimización constructiva no puede entenderse como una mera estrategia técnica, sino como una condición estructural para garantizar el derecho a la vivienda adecuada, reconocida por el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (ONU, 1991). En tanto que impacta directamente en la asequibilidad, la durabilidad, la funcionalidad y la integración urbana de la vivienda, optimizar los procesos se convierte en un instrumento clave para lograr soluciones habitacionales sustentables y socialmente justas.

3.8 Sistemas constructivos aplicados en vivienda

Los sistemas constructivos aplicados en viviendas se refieren a las metodologías y tecnologías utilizadas en la construcción de estructuras que tienen como función principal habitar. Estos sistemas abarcan desde los materiales utilizados hasta las

técnicas de construcción empleadas. La elección de un sistema constructivo depende de la ubicación, el presupuesto y la estética. Cada uno de los sistemas disponibles tiene sus propias características, ventajas y desventajas (Martínez Díaz & Vásquez Aguilar, s.f.).

3.8.1 Clasificación de sistemas constructivos

La clasificación de los sistemas constructivos en el ámbito de la vivienda puede abordarse a partir de una distinción fundamental entre aquellos de carácter tradicional, basados en técnicas empíricas, secuenciales y artesanales, y los alternativos, que incorporan innovación tecnológica, industrialización y racionalización de procesos. Esta diferenciación permite comprender no solo las técnicas constructivas involucradas, sino también los paradigmas de producción y las capacidades de respuesta ante los desafíos contemporáneos de urbanización, eficiencia y sostenibilidad (González & Cáceres, 2007).

El sistema constructivo tradicional, ampliamente difundido en América Latina y México, se sustenta en el uso de mampostería confinada, generalmente a partir de muros de tabique o block, con castillos y cadenas de concreto armado, en una lógica constructiva secuencial que privilegia la mano de obra intensiva y una alta dependencia de procesos húmedos en obra (Minke, 2009). Este modelo, si bien ha demostrado ser funcional y culturalmente aceptado, enfrenta limitaciones significativas en términos de control de calidad, tiempos de ejecución, resistencia a innovación y optimización de recursos, especialmente cuando se busca responder a demandas habitacionales masivas en plazos reducidos.

En contraste, los sistemas constructivos alternativos implican un cambio de paradigma. En lugar de replicar la lógica empírica del sistema tradicional, estos sistemas introducen procesos industrializados, modulares, prefabricados o híbridos, que permiten reducir tiempos, mejorar la precisión constructiva, minimizar desperdicios y elevar los estándares de calidad técnica (López Moctezuma & Treviño, 2018). Su implementación requiere una mayor planificación, capacitación

técnica y adecuación normativa, pero abre la posibilidad de responder con mayor agilidad y eficiencia a la creciente demanda de vivienda social, sin comprometer los criterios de habitabilidad ni sostenibilidad (IDB, 2019).

La Figura 4 presenta un desglose tipológico de los sistemas constructivos, permitiendo visualizar los elementos clave que los diferencian. Esta clasificación no sólo es útil para fines académicos o técnicos, sino también para tomadores de decisiones y formuladores de política pública, ya que ofrece criterios objetivos para seleccionar estrategias constructivas alineadas con los objetivos de eficiencia, resiliencia y equidad en la producción habitacional.

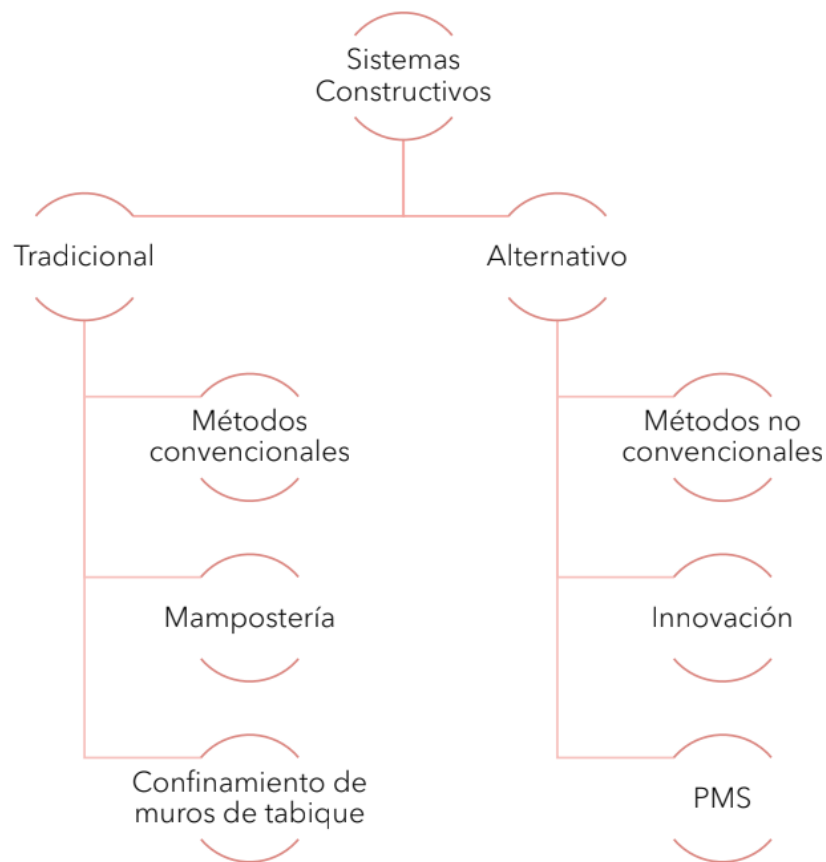


Figura 4. Generalidades de sistemas constructivos (Elaboración propia).

3.8.2 Sistemas tradicionales

Es el sistema con mayor peso de utilización para viviendas en México consiste en emplear mampostería confinada para el levantamiento de los muros seguido de losas elaboradas con concreto reforzado. Se suele implementar una losa de cimentación en la base, reforzada con malla de acero electro-soldada, y se añade acero de refuerzo en áreas específicas. Además, se instalan dadas reforzadas con estructura metálica electro-soldada a lo largo de los ejes principales (Martínez Díaz & Vásquez Aguilar, s.f.). En la Figura 5 se muestra un corte representativo de como se ve el sistema constructivo tradicional por confinamiento de tabique.

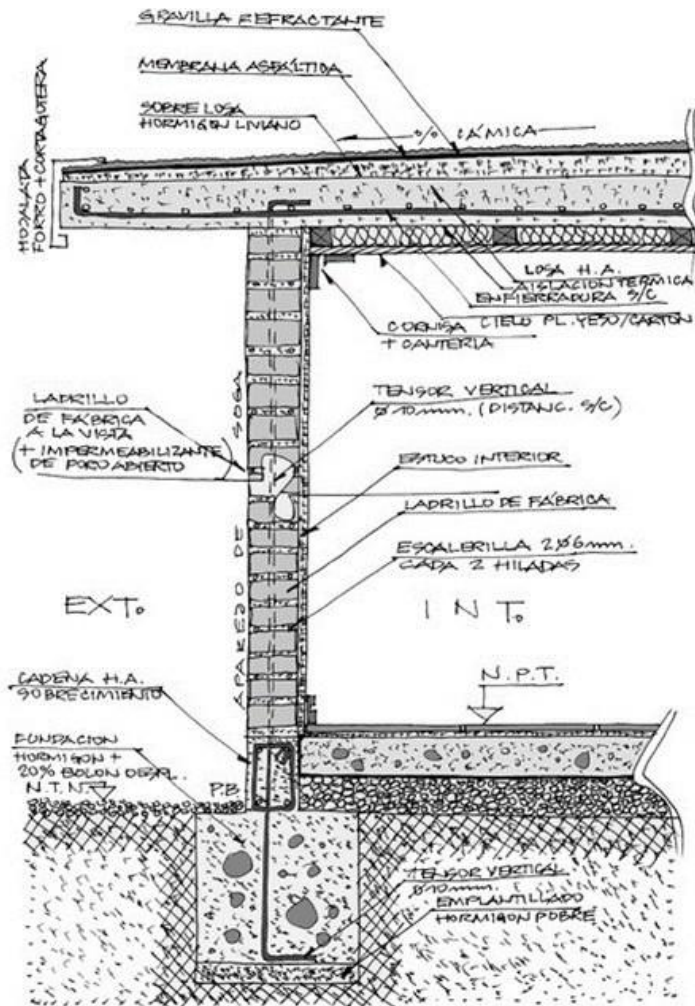


Figura 5. Corte representativo de un sistema constructivo tradicional por confinamiento. (Barros y Sarabia, 2017).

3.9 Sistemas constructivos alternativos para la construcción de vivienda de interés social

La creciente necesidad de acelerar la producción de vivienda de interés social (VIS) en América Latina ha motivado la incorporación de sistemas constructivos alternativos que permiten optimizar tiempos de ejecución, mejorar la calidad y reducir costos de operación. Estos sistemas han sido objeto de creciente atención por su capacidad de romper con los modelos tradicionales basados en mampostería confinada, los cuales, aunque ampliamente difundidos, presentan limitaciones en términos de rapidez, durabilidad y eficiencia productiva (ONU-Habitat, 2016; SEDATU, 2021).

Los sistemas alternativos incluyen, entre otros, paneles prefabricados, estructuras modulares, construcción con encofrado tipo túnel, y tecnologías de prefabricación ligera in situ, todas ellas con alto grado de repetibilidad, control de calidad en planta y reducción de desperdicios (López Moctezuma & Treviño, 2018). La implementación de estas soluciones ha demostrado ser eficaz en países como México, Brasil y Colombia, donde se han desarrollado proyectos piloto de vivienda social con sistemas no tradicionales que han logrado reducir los tiempos de ejecución hasta en un 40%, además de mejorar el desempeño térmico y estructural de la vivienda (IDB, 2019).

No obstante, su adopción aún enfrenta barreras normativas y de percepción cultural. La falta de normativas actualizadas, como manuales técnicos específicos o protocolos de validación estructural en algunos municipios, dificulta su certificación ante instancias como CONAVI o INFONAVIT (SEDATU, 2021). Asimismo, la resistencia de usuarios finales y constructores tradicionales, que asocian estos sistemas a menor calidad o a soluciones “provisionales”, continúa limitando su escalamiento, a pesar de su comprobado rendimiento técnico (ONU-Habitat, 2020).

Frente a este panorama, la adopción de sistemas constructivos alternativos debe abordarse como parte de una estrategia integral, que incluya la actualización normativa (por ejemplo, mediante la aplicación efectiva de la NOM-001-CONAVI-2019), la capacitación de la fuerza laboral, incentivos fiscales o financieros para innovadores, y campañas de información que permitan aumentar la aceptación pública. La evidencia acumulada sugiere que la innovación en el sistema constructivo no solo mejora la eficiencia, sino que también tiene efectos positivos sobre la ocupación, la sostenibilidad urbana y la permanencia habitacional, elementos clave para evitar fenómenos como el superávit o el abandono de vivienda (INFONAVIT, 2021; ONU, 1991).

En la Figura 6 se puede observar el corte representativo del sistema constructivo Covintec,

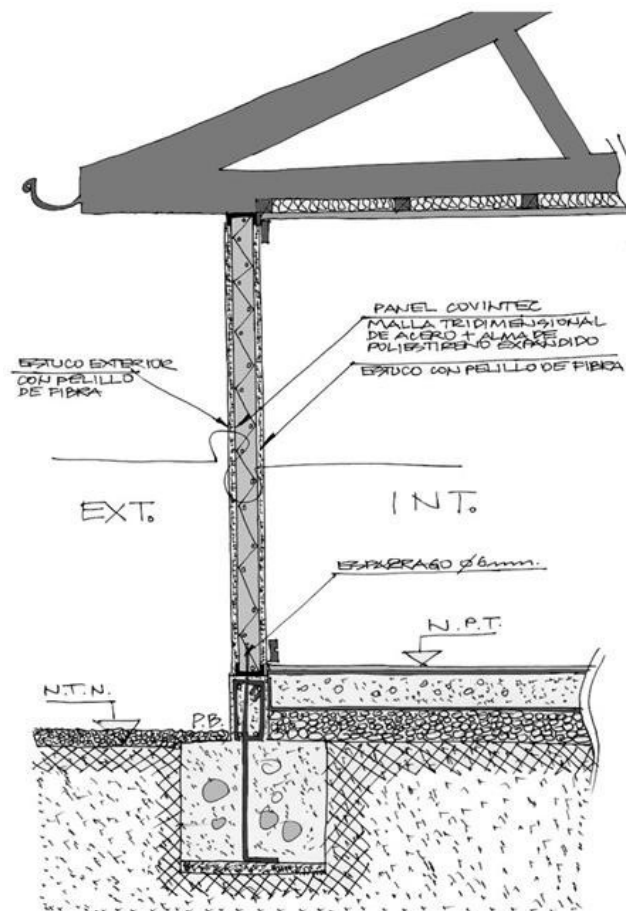


Figura 6. Corte representativo de un sistema constructivo alternativo denominado Convitec. (Barros y Sarabia, 2017).

3.9.2 Sistemas basados en “Formwork system”

El hormigón es el material primordial en la industria de la construcción y el encofrado desempeña una función crucial en la conformación de la geometría y el fortalecimiento de los elementos de hormigón, lo cual incide directamente en la calidad de las estructuras. Además, representa uno de los mayores costos en la construcción de estructuras de hormigón, así como un factor determinante en el tiempo de producción de viviendas de interés social (VIS). A lo largo del tiempo, se han empleado diversos sistemas de encofrado en distintos proyectos, teniendo en cuenta requisitos como seguridad, costo, geometría estructural, tiempo de construcción y calidad de la superficie. Un ejemplo de muestra en la Figura 7.

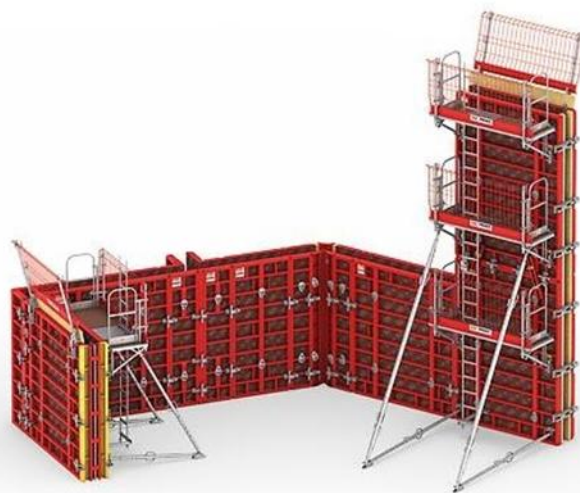


Figura 7. Formwork System. (Peri USA, s.f).

3.9.3 Prefabricados

La prefabricación se caracteriza como un sistema industrializado destinado a la producción de elementos o partes de una construcción, seguido por su gran

capacidad de montaje o ensamblaje en el sitio de construcción. El destacado auge de este método se atribuye principalmente a la creciente demanda de construir viviendas de manera amplia, económica y rápida. Estos elementos pueden estar hechos de diversos materiales, como madera, concreto o materiales compuestos, y permiten una construcción más rápida y eficiente.

Como se puede observar en la figura 6 (Martínez Díaz & Vásquez Aguilar, s.f.). En la Figura 8 podemos observar un corte del sistema constructivo panel SIP.

Los paneles estructurales aislados (SIP, por sus siglas en inglés) son un sistema de construcción eficiente y sostenible que combina capas de un material aislante, generalmente espuma de poliestireno, entre dos paneles estructurales (National Association of Home Builders, 2021).

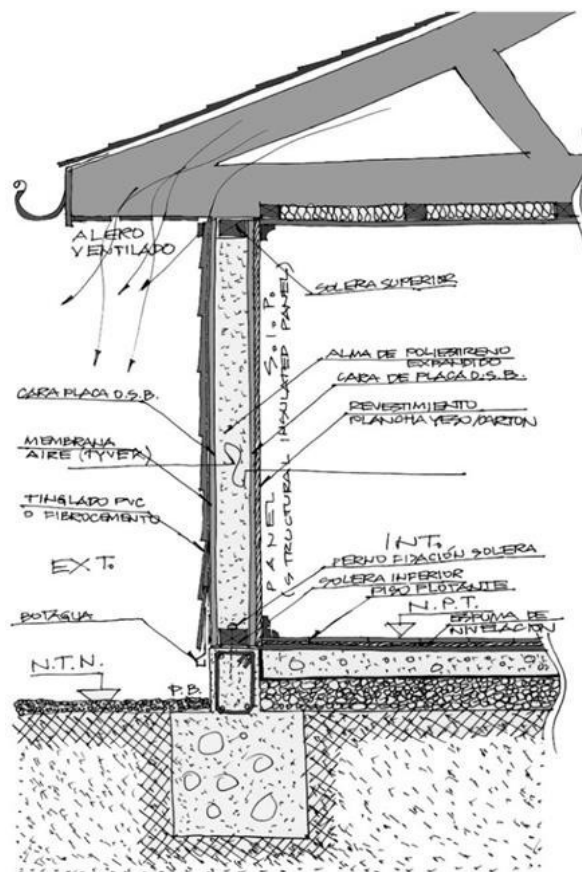


Figura 8. Corte representativo de un sistema alternativo prefabricado denominado panel SIP. (Barros y Sarabia, 2017).

3.9.4 Estructuras de acero

Las viviendas construidas con estructuras de acero son una tendencia emergente en la construcción actual, destacándose por su eficiente aislamiento térmico y acústico, así como por su capacidad de mantener costos bajos. La técnica de construcción implica la instalación de una estructura de acero galvanizado sobre una platea chapa, que después recibe diferentes tipos de envolventes con materiales prefabricados. (Serenio, 2017)

Las viviendas de acero son ampliamente utilizadas en países del norte como lo son Estados Unidos y Canadá debido a su estructura liviana, lo que posibilita su construcción independientemente de la calidad del suelo.

3.9.5 Paneles modulares

Implica la producción de secciones integrales de una vivienda dentro de un entorno controlado, como una fábrica, con la finalidad de luego ser ensambladas en el lugar de construcción. Como se muestra en la Figura 9. Esta metodología proporciona una aceleración notable en el proceso constructivo, reduce la generación de residuos y posibilita una mayor precisión en la edificación (Souza, 2023).



Figura 9. Representación de estructura basado en un sistema constructivo modular (Alquimodul, 2017)

3.10 Ventajas y desventajas de la construcción con sistemas alternativos

Este tema es de suma relevancia para entender de manera integral las implicaciones de estos sistemas en la construcción, proporcionando una evaluación equilibrada de sus aspectos positivos y desafíos (Ramos, 2019).

Ventajas: Eficiencia en el tiempo de construcción, reducción de residuos, sostenibilidad ambiental, costos controlados, calidad controlada (Ramos, 2019). Pero como en cualquier sistema constructivo también existen desventajas como los son: Limitaciones en diseño arquitectónico, transporte y logística, costos iniciales de fabricación, percepción cultural (Ramos, 2019).

3.8 Limitaciones en México para utilización de sistemas constructivos alternativos

En México, la implementación de sistemas constructivos alternativos enfrenta diversas limitaciones que ralentizan su adopción, a pesar de los beneficios que ofrecen en términos velocidad de construcción y su repercusión directa en los costos. Estas barreras no solo están relacionadas con factores técnicos, sino

también con aspectos económicos, culturales y normativos que condicionan su aceptación en el mercado.

Uno de los principales retos es la resistencia cultural al cambio. En el sector de la construcción, persiste una fuerte preferencia por métodos tradicionales como la mampostería y el concreto armado, debido a la confianza histórica en su durabilidad y rendimiento. Según Pacheco-Torgal (2014), este fenómeno se observa en muchos países en desarrollo, donde las prácticas tradicionales son percibidas como más seguras y confiables. En México, esta percepción está profundamente arraigada, lo que genera escepticismo hacia materiales y técnicas no convencionales.

Otra barrera significativa es la falta de regulación específica para sistemas alternativos. Aunque existen normas como las emitidas por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), estas se centran principalmente en tecnologías tradicionales. La ausencia de lineamientos claros para validar nuevos sistemas constructivos dificulta su aprobación en proyectos formales (CONAVI, 2020).

3.11 Vivienda social y los sistemas de construcción in situ

La vivienda social y la construcción in situ son temas de mucho interés en la arquitectura debido a que ha sido parte de la transformación del sistema constructivo tradicional. Además, existen diversas investigaciones y publicaciones al respecto. Estudios existentes abordan temas como la calidad de vida de las personas, los efectos sociopolíticos e institucionales de la transformación del acceso a la vivienda, la configuración territorial de las ciudades, la participación en proyectos de autoconstrucción, la evolución en el sistema constructivo, entre otros (Salas, 2016).

Cuando se habla de la evolución que se desarrolla en el sistema constructivo tradicional se sabe que este se rige conforme a la necesidad, es decir, este tiende a transformarse para facilitar su asequibilidad en otras necesidades, oportunidades o riesgos (Salas, 2016).

3.11.1 Limitaciones actuales en los sistemas de construcción in situ

El panorama de la construcción in situ, aunque ha experimentado avances significativos, presenta diversas limitaciones que impactan la eficiencia y la calidad de los proyectos. Identificar estas limitaciones es crucial para fomentar la innovación y mejorar los procesos constructivos. Sin embargo, existen limitaciones actuales en los métodos de construcción In Situ que deben ser considerados. (Sandoval, 2014).

Tiempo y velocidad: La construcción in situ a menudo implica plazos extensos. Los procesos manuales y la dependencia de factores climáticos pueden ralentizar significativamente el avance de las obras, afectando la eficiencia y aumentando los costos (Sandoval, 2014).

Costos elevados: Los sistemas tradicionales de construcción in situ pueden resultar costosos debido a la mano de obra intensiva y los materiales utilizados. La necesidad de una gran cantidad de trabajadores y la gestión logística compleja contribuyen a aumentar los costos totales (Sandoval, 2014).

Desperdicio de materiales: La construcción in situ a menudo genera un mayor desperdicio de materiales. La precisión manual limitada y la necesidad de ajustes frecuentes pueden resultar en el uso ineficiente de recursos (SEMARNAT, 2019).

3.12 Necesidad de soluciones eficientes y sostenibles.

La necesidad de soluciones eficientes y sostenibles no solo aborda problemas actuales, sino que sienta las bases para un futuro donde la construcción sea un catalizador de desarrollo respetuoso con el medio ambiente y socialmente responsable (Naciones Unidas, 2019).

El desarrollo de soluciones eficientes y sostenibles son un enfoque integral que busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Se centra en la

armonización equilibrada entre el crecimiento económico, la equidad social y la preservación del medio ambiente (Naciones Unidas, 2019),

Este concepto reconoce la interconexión entre los aspectos económicos, sociales y ambientales del progreso humano, promoviendo prácticas que no agoten los recursos naturales ni degraden los ecosistemas (Naciones Unidas, 2019).

3.13 Evaluación de sistemas constructivos no tradicionales

La evaluación de sistemas constructivos no tradicionales en programas de vivienda es esencial para garantizar la calidad, durabilidad y su adecuación a las necesidades de la población abarcando aspectos como el consumo de energía, la eficiencia de los materiales y la calidad (Mussio, 2019).

En este sentido, se han llevado a cabo evaluaciones integrales de viviendas construidas con sistemas innovadores, con el fin de analizar sus resultados y su efectividad en la satisfacción de las necesidades habitacionales de la población. (Mussio, 2019).

3.14 Gestión eficiente del tiempo durante la producción de vivienda social

La gestión eficiente del tiempo en la implementación de sistemas constructivos no tradicionales en programas habitacionales es un aspecto crucial que influye en la calidad, la eficiencia y la efectividad de los proyectos de vivienda social. La optimización de procesos constructivos en programas habitacionales busca reducir los tiempos de construcción y entregar las viviendas a la población en el menor tiempo posible, sin comprometer la calidad y la seguridad de las mismas. Este enfoque permite maximizar los recursos disponibles y mejorar la eficiencia en la ejecución de los proyectos, contribuyendo a la satisfacción de las necesidades de la población de manera más efectiva (Muzzio, 2022).

3.15 Proyectos análogos que han utilizado sistemas constructivos alternativos para vivienda social

Al explorar proyectos previos, se pretende no solo examinar la viabilidad técnica y económica de los sistemas constructivos utilizados, sino también comprender cómo han influido en la calidad de vida de los residentes y en la sostenibilidad a largo plazo de las viviendas sociales. Esta revisión contribuirá a la formulación de estrategias más informadas y eficaces para futuros proyectos de vivienda social, aprovechando la experiencia acumulada y fomentando la innovación en la construcción de comunidades más inclusivas y sostenibles. La utilización de paneles modulares en la construcción de vivienda social es un tema relevante en la industria de la construcción. (Souza, 2023). A continuación, se presentan algunos casos análogos de utilización de paneles modulares en vivienda social encontrados en la búsqueda.

Máquina verde: prototipo de vivienda social modular adaptable

Máquina verde es el resultado del trabajo de investigación realizado durante 4 años por parte de la oficina del Pei, a través de su proyecto Nuevos Territorios. Obtuvo el segundo puesto a nivel general en el concurso Solar Decathlon Latin America & Caribbean en su edición 2019 (Baraya, 2020).

Este artículo presenta un prototipo de vivienda social modular adaptable llamado "Máquina verde". El proyecto utiliza paneles modulares prefabricados para construir una vivienda social que se adapta a las necesidades de los habitantes y al entorno. Como se muestra en la Figura 10. Además, establece que la sostenibilidad se comprende como un concepto multidimensional que debe vincular a la sociedad, la economía y el respeto por el medioambiente (Baraya, 2020).

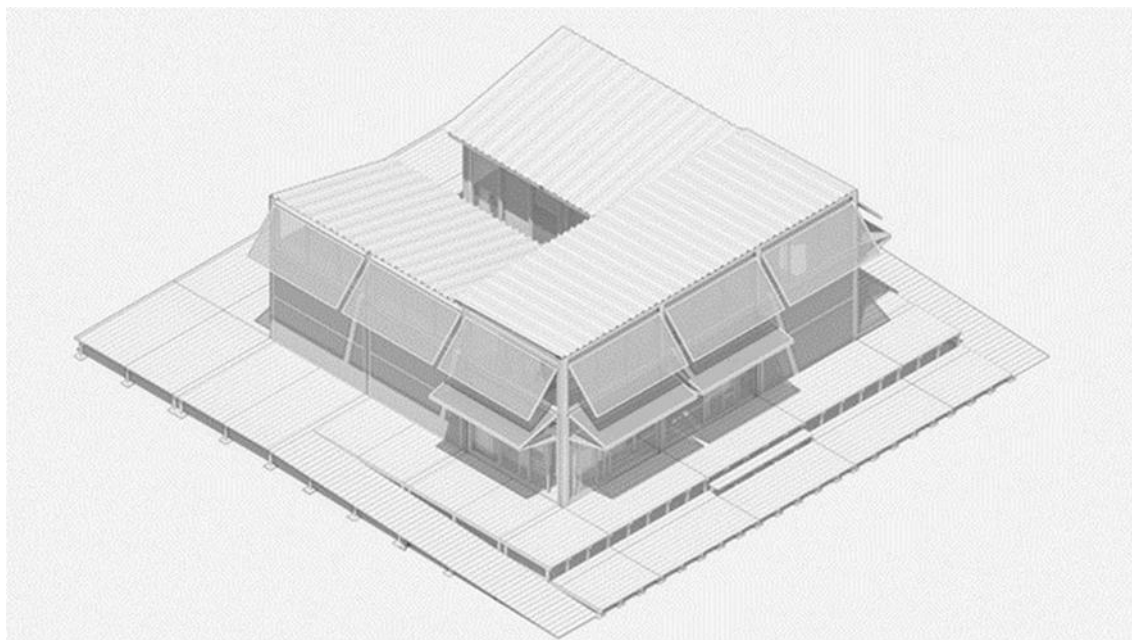


Figura 10. Representación axonométrica del prototipo de vivienda. (Baraya, 2020)

Modular 5.5, un proyecto flexible y sostenible de construcción modular en madera

Modular 5.5 surge de la investigación de materiales sostenibles, empleando estructuras y cerramientos fabricados con madera proveniente de bosques replantados. Además, representa un proceso constructivo centrado en la utilización máxima de componentes que llegan al lugar de construcción completamente preparados para su ensamblaje. Como se muestra en la Figura 11. Esto se traduce en edificaciones que se erigen rápidamente, generando mínimos residuos y causando un impacto reducido en el entorno. Este enfoque es especialmente adecuado para experimentos y proyectos en el ámbito de construcciones pequeñas y medianas, como las viviendas. (Souza, 2023).

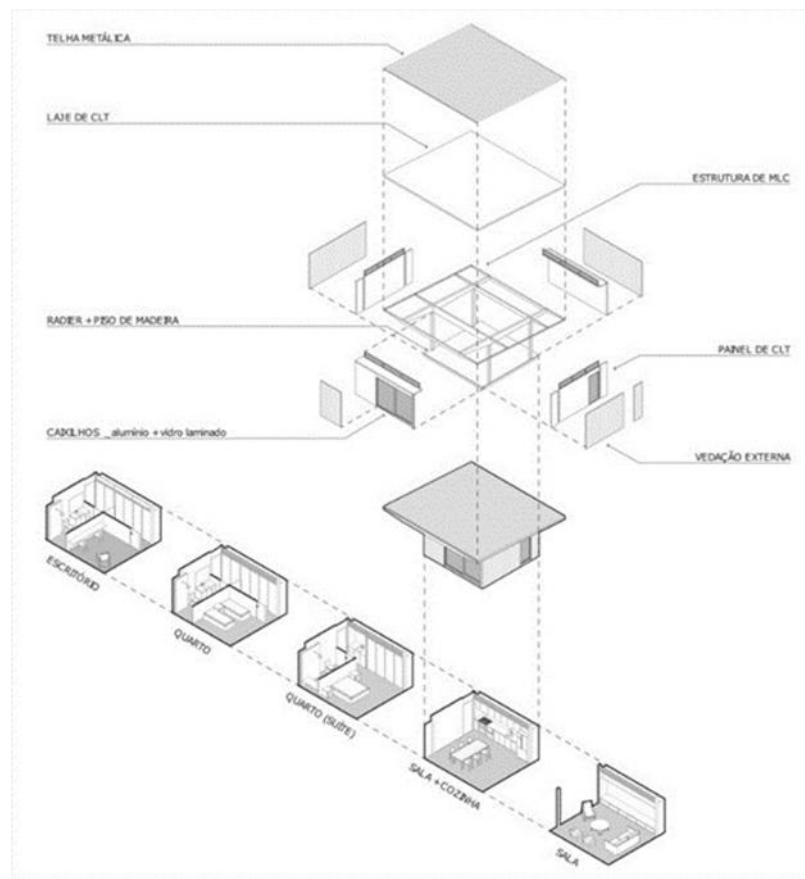


Figura 11. Representación axonométrica de los módulos existentes divididos por espacios. (UNABV, 2020)

3.16 Identificación de oportunidades de mejora

La integración de paneles modulares en la construcción de vivienda social es un tema de gran relevancia en la industria constructiva. La revisión de casos análogos resalta oportunidades significativas para optimizar el uso de paneles modulares prefabricados y la aplicación de procesos de construcción industrializados con el propósito de elevar la eficiencia y reducir los costos en este contexto. Enfocándose en la incorporación de paneles modulares prefabricados y la implementación de un proceso de construcción industrializado. Es por eso que se puede encontrar un área de oportunidad en el proceso de diseño del panel modular, que permita al usuario un mejor manejo del producto, debido a que gran parte de los paneles ofrecidos

dentro del mercado requieren de maquinaria pesada para sus instalación y desinstalación, provocando costos menos asequibles. (Martínez y Vásquez, s.f.)

La implementación de una estrategia que integre un panel modular diseñado específicamente para ser más ligero, ergonómico y fácil de transportar, instalar y retirar podría revolucionar la eficiencia del sistema constructivo tradicional, especialmente al incorporarlo en la etapa de confinamiento de muros. La inclusión de esta tecnología en el proceso constructivo permitiría optimizar significativamente los tiempos de ejecución, reduciendo el esfuerzo físico requerido por los trabajadores y mejorando la precisión y la velocidad de cada etapa.

Este tipo de panel modular, al ser más manejable y adaptable a las exigencias del entorno de trabajo, facilitaría una construcción más ágil y con menor riesgo de errores en el montaje, lo que resultaría en una mayor durabilidad y calidad estructural. Además, la facilidad de transporte y colocación del panel modular podría minimizar los tiempos de espera en obra, y disminuir la dependencia de maquinaria pesada y de los recursos humanos intensivos que típicamente demanda el sistema constructivo tradicional.

Con una estrategia así, se podría también reducir la carga en los cronogramas y costos indirectos, ya que la instalación de un sistema modular ergonómico requeriría menos tiempo y esfuerzo. Esta sinergia entre tecnología y el sistema constructivo tradicional crearía un modelo híbrido que mantendría las ventajas estructurales del método convencional, mientras incorpora la rapidez y flexibilidad del sistema modular, ofreciendo una solución eficiente y de alta calidad para proyectos de gran escala.

IV. Descripción del problema

La problemática de esta investigación se enmarca en una de las tensiones estructurales más urgentes del modelo urbano contemporáneo; la forma en que estamos produciendo vivienda frente al ritmo acelerado de crecimiento urbano. Este

desbalance se traduce en una presión sostenida sobre los mecanismos tradicionales de edificación, los cuales, en muchos contextos del país, ya han sido rebasados en su capacidad técnica, operativa y logística.

La demanda habitacional constante, resultado de dinámicas demográficas y migratorias, ha impuesto la necesidad de acelerar los procesos constructivos como única vía para evitar el rezago. En respuesta, el sector ha optado por modelos de producción masiva, priorizando volumen sobre planeación contextual o pertinencia territorial. Esta tendencia, aunque funcional en términos de metas cuantitativas, ha producido un efecto colateral estructural: la separación entre la vivienda producida con calidad y aquella construida sin ella.

Cuando la aceleración constructiva se desvincula de la calidad técnica, proyectual y social de la vivienda, emerge un fenómeno crítico: el superávit habitacional, entendido como la existencia de un volumen elevado de viviendas formales, pero no habitadas. Estas viviendas, por ser inadecuadas, mal ubicadas o carentes de servicios, no cumplen su función social, provocando su abandono temprano y perdiéndose del inventario funcional del parque habitacional nacional.

En otras palabras, la vivienda existe, pero no puede contabilizarse como solución habitacional efectiva. Esta paradoja evidencia que la simple producción no resuelve el problema de acceso a vivienda, si esta no cumple con criterios mínimos de habitabilidad, conectividad y dignidad.

En contraste, cuando los procesos de construcción, aunque acelerado mantienen un estándar de calidad, se observa una relación inversa: el superávit habitacional se retrasa. Esto implica que la vivienda es efectivamente ocupada, mantenida y apropiada por sus habitantes, reduciendo el ciclo de abandono y reforzando su valor como política pública.

Por tanto, la problemática no reside únicamente en la cantidad de vivienda producida, sino en cómo y bajo qué condiciones se está construyendo. La eficiencia sin calidad no es solución, sino desplazamiento del problema.

Este planteamiento obliga a repensar la estrategia productiva desde una perspectiva integral: una que acelere sin sacrificar calidad, que permita escalar sin generar obsolescencia habitacional, y que entienda la vivienda no como un producto, sino como un derecho.

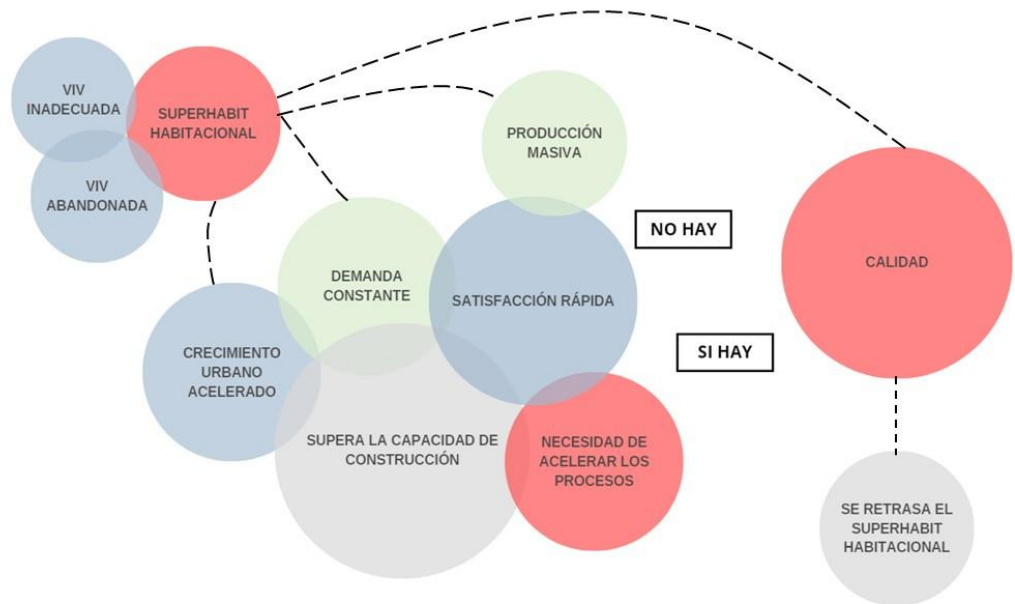


Figura 12. Diagrama representativo de interacción conceptual en la problemática (Elaboración propia, 2024)

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

Implementar una estrategia integral que optimice el tiempo de producción de vivienda de interés social (VIS), manteniendo los estándares de calidad, mediante la aplicación de prácticas eficientes y el uso de un sistema constructivo innovador.

5.2 Objetivos específicos

1. Analizar exhaustivamente el sistema constructivo tradicional por confinamiento en sus primeras 5 etapas de la producción de vivienda social, identificando áreas de mejora en relación al tiempo.
2. Diseñar una estrategia que incorpore un sistema constructivo y prácticas de gestión más eficientes, optimizando así, el tiempo de producción sin comprometer la calidad.
3. Aplicar la estrategia dentro del proceso de las 5 etapas de producción de vivienda de interés social integrando el sistema constructivo innovador y las prácticas eficientes en gestión de tiempo.
4. Evaluar el desempeño de la estrategia, analizando la eficiencia en términos de tiempo y calidad.

VI. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, titulada “Uso de un sistema constructivo alternativo como estrategia para optimizar el tiempo en la producción de vivienda de interés social (VIS), sin comprometer su calidad”, se adoptó el modelo metodológico del Doble Diamante, propuesto por el Design Council del Reino Unido (Design Council, 2019). Esta elección responde a la necesidad de abordar el problema de forma holística, estructurada y centrada en el usuario final, cualidades que han demostrado ser fundamentales para enfrentar los desafíos complejos en contextos de innovación aplicada al entorno construido.

5.1 Doble Diamante del *Design Council UK* + Prototipado de *Design Thinking*

El modelo del Doble Diamante, desarrollado por el Design Council del Reino Unido, se compone de cuatro fases: Descubrir, Definir, Desarrollar y Entregar. Estas etapas se alternan entre momentos de exploración amplia (divergencia) y momentos de

síntesis y decisión (convergencia), lo que permite abordar problemas complejos de forma estructurada y centrada en el usuario (Design Council, 2019). Este enfoque es especialmente útil para responder a los desafíos de la vivienda social, como el déficit habitacional, la presión por reducir los tiempos de construcción y el riesgo de pérdida de calidad en obra (ONU-Habitat, 2020).

Frente a estos retos, el Doble Diamante ofrece una metodología flexible que integra tanto el análisis técnico como la participación de los actores clave del proceso: usuarios, constructores y responsables de obra. En esta investigación, el modelo se utilizó para entender el problema habitacional, explorar soluciones constructivas alternativas y validarlas en campo, evaluando si pueden mantener estándares de calidad mientras reducen el tiempo de ejecución.

De forma complementaria, se incorporó una etapa de prototipado, inspirada en el enfoque del Design Thinking, para construir y probar un elemento representativo del sistema constructivo alternativo en condiciones reales. Esta fase permitió observar de manera directa los procesos constructivos, medir los tiempos reales y analizar la curva de aprendizaje de la cuadrilla. Incluir el prototipado fortaleció la metodología, al generar evidencia empírica y retroalimentación inmediata, lo cual es clave en investigaciones aplicadas con impacto técnico y operativo.

En conjunto, el uso del Doble Diamante con la fase adicional de prototipado permitió abordar la investigación desde una perspectiva multidisciplinaria contextualizada, integrando innovación, análisis técnico y validación práctica. En la siguiente Figura se muestra un diagrama donde se puede observar la metodología de doble diamante y la adición de la fase de prototipado del *Design Thinking*



Figura 13. Fases de la metodología Doble Diamante del *Design Council* + Integración de Prototipado del *Design Thinking*. (Elaboración propia, *Design Council*, 2019).

5.1.1 Fase 1: Descubrir

En la primera fase, y en el contexto de la presente investigación, centrada en el uso de un sistema constructivo alternativo para optimizar el tiempo de producción de vivienda de interés social (VIS) sin comprometer su calidad, la fase de descubrimiento resultó fundamental para reconocer las causas multidimensionales que afectan la eficiencia constructiva en entornos urbanos vulnerables. Para ello, se utilizaron desarrollo un análisis documental de proyectos habitacionales previos, y revisión de literatura especializada sobre déficit y superávit habitacional, limitaciones normativas, y procesos tradicionales de edificación en México y América Latina (ONU-Habitat, 2020; SEDATU, 2021).

El valor estratégico de esta fase radica en su capacidad para desarticular diagnósticos simplistas y permitir una comprensión compleja del problema. Por ejemplo, en lugar de asumir que la lentitud constructiva responde exclusivamente a ineficiencias técnicas, se identificaron variables clave como la falta de prácticas eficientes en obra que se destacan como la planificación inadecuada, mala supervisión de obra, la curva de aprendizaje de la cuadrilla, y las barreras culturales

frente a sistemas no tradicionales. Estos hallazgos permitieron cuestionar el modelo de producción dominante y abrir paso al diseño de una estrategia que combina innovación técnica con la aplicación de prácticas eficientes.

5.1.2 Fase 2: Definir

La segunda fase del modelo del Doble Diamante, denominada Definir (Define), representa un momento clave de síntesis analítica, en el que se estructuran los hallazgos de la fase anterior para formular con claridad el problema a resolver. En esta investigación, dicha formulación se centró en delimitar las condiciones técnicas, operativas y estratégicas que obstaculizan la eficiencia en la producción de vivienda de interés social (VIS), y en establecer si un sistema constructivo alternativo puede responder a dichas limitaciones bajo condiciones reales de obra.

A través de un proceso de observación y la comparación con datos bibliográficos del sistema tradicional basado en muro de tabique, se detectó que el modelo convencional presenta una alta fragmentación de tareas, escasa estandarización, y una dependencia considerable de la experiencia de la cuadrilla, lo que prolonga los tiempos de ejecución y genera variabilidad en la calidad final.

En este marco, se definió el problema operativo central: la imposibilidad del modelo constructivo tradicional para responder, en tiempo y forma, a la demanda acelerada de vivienda social sin comprometer su calidad. Frente a ello, se planteó que la implementación de un sistema constructivo alternativo, con componentes prefabricados y montaje racionalizado, puede reducir significativamente el tiempo de obra, manteniendo los estándares básicos de calidad habitacional.

Esta definición estructuró los criterios de evaluación del prototipo construido, los cuales incluyeron:

- a) Avance diario constante desde cimentación hasta albañilería.
- b) Consistencia en la curva de aprendizaje de la cuadrilla.

- c) Comparación directa con datos históricos de obra tradicional.
- d) Comportamiento del sistema frente a condiciones reales de obra (limitaciones de espacio, clima, mano de obra disponible).

La fase de definición permitió así traducir una problemática estructural, como lo es la lentitud y variabilidad en la producción de VIS, en un reto concreto de validación empírica, orientado a demostrar la viabilidad técnica, operativa y replicable de un sistema constructivo innovador bajo un esquema planificado.

5.1.3 Fase 3: Desarrollar

En el ámbito de esta investigación, dicha solución corresponde a la implementación de un sistema constructivo alternativo de *in situ* denominado PMS (Panel Modular en Sitio), cuya eficiencia se activa únicamente bajo un modelo de gestión coordinada y sistematizada. Esta fase, por tanto, no se limita a la ejecución del sistema, sino a su incorporación dentro de una lógica organizativa rigurosa, basada en prácticas eficientes de planificación, supervisión y monitoreo del desempeño operativo, propias de metodologías como Lean Construction (Koskela, 2000; Ballard & Howell, 2003).

Durante esta etapa se desplegó una estrategia estructurada de implementación, en la que el sistema constructivo fue organizado conforme al avance diario, permitiendo una ejecución continua y homogénea. Se asumió que el éxito del sistema no dependía únicamente de su diseño físico, sino de su capacidad para articularse con un modelo de producción que eliminara pérdidas operativas, redujera la variabilidad y promoviera la estabilidad del rendimiento en campo.

Los pilares técnicos que guiaron esta fase fueron los siguientes:

- a) Planificación anticipada y segmentada de obra, con un diseño de secuencia constructiva optimizada que permitió mantener el mismo ritmo de avance desde la cimentación hasta la culminación de la etapa de albañilería. Esta

continuidad operativa fue clave para medir la eficiencia real del sistema y evitar interrupciones que alteraran los tiempos proyectados.

- b) Supervisión técnica estructurada, en la que se priorizó el acompañamiento directo durante las etapas críticas iniciales. Este acompañamiento fue retirado progresivamente conforme la cuadrilla adquirió dominio operativo, dando paso a una fase de ejecución autónoma que permitió evaluar la replicabilidad del sistema bajo condiciones convencionales.
- c) Seguimiento activo de la curva de aprendizaje, observando cómo los tiempos y la precisión de ejecución evolucionaron favorablemente conforme los operarios se familiarizaron con el sistema. Se constató una tendencia positiva hacia la estandarización de procesos, lo que sugiere que el sistema presenta una curva de aprendizaje breve y tecnológicamente accesible, especialmente en entornos donde la mano de obra es semi calificada.

Esta fase permitió evaluar la viabilidad técnica del sistema constructivo alternativo en escenarios de aplicación real, bajo un esquema con las exigencias de la vivienda de interés social: alta demanda, presión de tiempos y necesidad de calidad replicable.

5.1.4 Fase 4: Prototipar

La incorporación de una fase de prototipado en esta investigación responde a la necesidad metodológica de generar evidencia directa sobre el desempeño del sistema constructivo alternativo PMS (Panel Modular en Sitio) en condiciones reales de aplicación. Aunque el modelo del Doble Diamante no contempla esta etapa de forma explícita, su integración resulta coherente desde el enfoque del Design Thinking, el cual privilegia la evaluación constante y la mejora continua como herramientas para la innovación efectiva en contextos complejos (Liedtka, 2015).

En este estudio, el prototipado fue concebido como un ensayo técnico-operativo controlado, en el cual se construyeron elementos representativos del sistema propuesto; en este caso, se partió de lo particular a lo general, hablando de

elementos fundamentales para la construcción de cualquier tipología de vivienda, primero se realizó un muro estructural con las siguientes dimensiones 3.00 metros x 1.20 metros de h, con el fin de observar el comportamiento real del sistema, su interacción con la cuadrilla (curva de aprendizaje), calidad respecto a las NTC-EST-2017 que refiere a la calidad estructural de los elementos fabricados en concreto no debe ser menor a 250 kg/cm^2 , y los tiempos efectivos de ejecución, bajo condiciones análogas a las de obra habitacional.

Este primer enfoque fue evaluado con un Instrumento de evaluación comparativa de sistemas constructivos (IECSC), que arrojó que este primer acercamiento experimental cumplió múltiples alcances:

1. Obtener datos reales sobre tiempos de producción, desagregados por etapa (preliminares, excavación, cimentación, estructura y albañilería), con los cuales fue posible comparar el desempeño frente a sistemas tradicionales como el de tabique confinado.
2. Observar la curva de aprendizaje operativa de la cuadrilla, identificando la disminución progresiva de errores y tiempos conforme se repetía el proceso, lo cual permitió evaluar la replicabilidad lineal del sistema sin depender de personal altamente calificado.
3. Validar la calidad alcanzada en los elementos ejecutados, considerando criterios técnicos observables como verticalidad, alineación, homogeneidad del colado, resistencia estructural y condiciones de acabado superficial.
4. Detectar posibles fallas logísticas, lo cual permitió realizar ajustes menores sin comprometer el modelo general.

El segundo acercamiento experimental dentro del proceso de implementación del sistema constructivo alternativo se llevó a cabo en un espacio físico con dimensiones de 9.00 x 18.00 metros y una altura libre de 3.60 metros, lo cual representó una escala intermedia entre los prototipos unitarios previamente ejecutados (como el primer muro) y una futura edificación habitacional completa. Esta fase tenía como propósito evaluar el comportamiento del sistema bajo

condiciones más amplias de ensamblaje entre paneles, logística de materiales y coordinación de cuadrillas, en un entorno más próximo a un sitio real de vivienda en serie.

No obstante, dicha intervención tuvo que ser suspendida durante su desarrollo debido a limitaciones críticas en el factor humano, específicamente en la función de supervisión de obra, lo que representa un hallazgo relevante para la investigación. La persona inicialmente asignada a la supervisión carecía de la formación técnica, capacidad de liderazgo operativo y habilidades de resolución de problemas necesarias para enfrentar los retos propios de la obra civil bajo esquemas alternativos. A diferencia de sistemas constructivos tradicionales, que, si bien ineficientes en muchos sentidos, han consolidado una cultura organizacional estandarizada; los sistemas innovadores requieren de figuras técnicas que actúen no solo como vigilantes del cumplimiento de planos, sino como facilitadores de procesos de aprendizaje, gestión de insumos estratégicos y toma de decisiones rápidas frente a condiciones cambiantes.

Tras los aprendizajes obtenidos en los dos acercamientos anteriores, el primero centrado en la ejecución de elementos individuales y el segundo afectado por deficiencias en la supervisión técnica, el tercer acercamiento experimental representó una fase de consolidación práctica y validación integral del sistema constructivo alternativo. En esta ocasión, se ejecutó la construcción de una bodega funcional de dimensiones 3.00 x 6.00 metros y una altura máxima de 2.70 metros, concebida como una unidad espacial cerrada con exigencias estructurales, logísticas y constructivos equivalentes a una edificación habitacional básica.

5.1.5 Fase 5: Validar

La fase de validación constituye un momento metodológico clave dentro del enfoque del Doble Diamante ampliado, ya que permite comprobar si las soluciones propuestas no solo son técnicamente viables, sino también replicables, aceptables en condiciones reales de obra y alineadas con los objetivos estratégicos del

proyecto. En el contexto de esta investigación, dicha fase se orientó a evaluar el desempeño del sistema constructivo alternativo implementado, haciendo énfasis en su comportamiento durante las primeras cinco etapas del proceso constructivo: preliminares, excavación, cimentación, estructura y albañilería.

Para ello, se desarrolló una estrategia de validación empírica estructurada en tres niveles complementarios:

1. Evaluación funcional en campo: Se llevó a cabo a través de la ejecución experimental controlada de prototipos en obra real. Esta estrategia permitió observar directamente la aplicabilidad del sistema en condiciones operativas, sin simulaciones ni ensayos controlados de laboratorio, lo cual es coherente con los principios de investigación aplicada en entornos urbanos reales.
2. Instrumento de evaluación por usabilidad operativa: Se diseñó un cuestionario específico aplicado a las cuadrillas participantes, centrado en tres ejes: percepción de calidad del sistema, claridad en la curva de aprendizaje, y evaluación del ritmo de ejecución diaria. Este instrumento permitió obtener datos desde la perspectiva de los operarios, considerando su experiencia en obra tradicional y su adaptación al nuevo método.
3. Análisis comparativo estructurado por fases de obra: Se realizó un desglose detallado del desempeño observado en cada una de las cinco etapas constructivas clave, comparando el proceso alternativo con el sistema tradicional (muros de tabique con confinamiento). Este análisis se apoyó en tablas comparativas, bitácoras de obra, y registros fotográficos con seguimiento técnico de avance diario, permitiendo validar no solo el desempeño temporal, sino la secuencia técnica y las posibles contingencias del sistema.

VI. Resultados

6.1 Resultados Fase 1: Descubrir

Durante la fase de descubrimiento se realizó un análisis documental exhaustivo con el objetivo de comprender las causas estructurales que obstaculizan la eficiencia en la producción de vivienda de interés social (VIS) en México. Esta indagación permitió descomponer el problema en múltiples dimensiones, revelando que el retraso constructivo no puede ser atribuido exclusivamente a deficiencias técnicas o presupuestales, sino que obedece a un conjunto de factores interrelacionados que incluyen: planificación inadecuada, curva de aprendizaje prolongada de las cuadrillas, modelos operativos tradicionales rígidos, y una marcada resistencia a la adopción de sistemas constructivos innovadores.

El diagnóstico se apoyó en estadísticas oficiales. Por ejemplo, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, México cuenta con más de 6.1 millones de viviendas deshabitadas, lo que representa aproximadamente el 15% del parque habitacional nacional. Esta cifra, lejos de reflejar un éxito en cobertura, evidencia la ineficacia de muchos proyectos habitacionales masivos, que, por centrarse en la velocidad de entrega sin un enfoque sistémico de calidad, han derivado en el fenómeno del superávit habitacional improductivo. La vivienda existe, pero no cumple su función social.

Adicionalmente, el análisis de informes del INEGI (ENVI, 2020) y la SEDATU (2021) mostró que los tiempos promedio de construcción de una vivienda social oscilan entre 5 y 7 meses, con variaciones significativas atribuibles a interrupciones por fallos en supervisión, falta de insumos organizados, y prácticas ineficientes en obra. Estas deficiencias no solo aumentan el costo de ejecución, sino que impactan directamente en la habitabilidad, durabilidad y ocupación de las viviendas.

Etapa de Obra Civil	Sistemas Modulares	Sistemas con Formworks (encofrados)	Sistemas Tradicionales
Preliminares	Montaje rápido, mínima preparación de sitio, alta prefabricación.	Preparación del sitio con precisión para moldes; logística de materiales clave.	Limpieza de sitio, trazos manuales, acopio de materiales en sitio.
Excavación	Requiere mínima excavación o integración con cimentación superficial prefabricada.	Excavación tradicional pero con necesidad de precisión dimensional para moldes.	Excavación manual o con maquinaria, mayor variabilidad de tiempo y ejecución.
Cimentación	Generalmente reemplazada por plataformas modulares preensambladas.	Vaciado eficiente en moldes; velocidad depende del tipo de formwork (reutilizable).	Cimentación con armado in situ, uso intensivo de mano de obra y materiales.
Estructura	Estructuras ensambladas por módulos, reducción significativa de tiempo.		Estructura levantada con castillos, trabes y losas; alto tiempo de ejecución.
Albañilería	Etapa casi inexistente; se integra en los módulos acabados de fábrica.		Mampostería por etapas, lenta, depende fuertemente de cuadrillas experimentadas.

Tabla 4. Análisis comparativo de etapas y sistemas constructivos (Elaboración propia, datos de Chávez, 2018)

Etapa de Obra Civil	Sistemas Modulares (días)	Sistemas con Formworks (días)	Sistemas Tradicionales (días)
Preliminares	1	1	7
Excavación	1	1	3
Cimentación	1	1	7
Estructura	2	4	14
Albañilería	2		21
Total Aproximado	7	7	52

Tabla 5. Tiempos por etapa respecto a la comparativa de sistemas constructivos (Elaboración propia, datos Análisis de precios unitarios, rendimientos de obra, 2022)

Etapa de Obra Civil	Sistemas Modulares	Sistemas con Formworks (encofrados)	Sistemas Tradicionales
Preliminares	Sin datos relevantes		
Excavación	Media (requiere adaptación precisa del sitio a los módulos)	Media (precisión en excavación es crítica para alineación de moldes)	Media (dependencia de equipo y supervisión variable)
Cimentación	Alta (prefabricación elimina errores típicos de obra)	Alta (moldeo controlado mejora uniformidad y resistencia)	Media (alta dependencia del personal y calidad del armado)
Estructura	Alta (ensamblaje estandarizado y probado previamente)	Alta (colados continuos y optimizados reducen errores)	Media (propensa a errores por ejecución artesanal y clima)
Albañilería	Alta (acabados de fábrica con calidad controlada)	Media-Alta (acabados requieren de mínima intervención manual)	Media-Baja (calidad depende completamente de la aptitud de mano de obra)

Tabla 6. Análisis comparativo con base a la calidad respecto a cada una de las etapas en sistemas constructivos (Elaboración propia, 2024)

Basado en los análisis anteriores desglosados en las tablas se priorizó la implementación de un sistema constructivo basado en *formworks* (encofrados reutilizables) frente a los sistemas modulares industrializados, debido a razones técnico-operativas, logísticas y económicas que impactan directamente en la viabilidad de su aplicación en contextos reales de vivienda social en México. Aunque los sistemas modulares han sido ampliamente promovidos por su promesa de eficiencia y repetibilidad, su implementación en entornos urbanos de alta vulnerabilidad y recursos limitados presenta requisitos logísticos, normativos y de infraestructura que los vuelven poco competitivos frente a soluciones más adaptables como los formworks.

6.2 Resultados Fase 2: Definir

Los sistemas modulares requieren de condiciones extremadamente controladas para su traslado, montaje y conexión. En primer lugar, exigen infraestructura vial adecuada y accesibilidad total al sitio de obra, lo cual es poco común en zonas de expansión urbana donde se ubican los desarrollos de vivienda social. Además,

necesitan grúas de alto tonelaje, plataformas logísticas especializadas y personal altamente capacitado en montaje industrializado, elevando significativamente los costos indirectos y limitando la adaptabilidad del sistema a condiciones cambiantes del entorno.

Por otro lado, la estandarización extrema de los módulos compromete su flexibilidad arquitectónica y urbanística. En muchos casos, estos sistemas reproducen lógicas de producción en masa sin considerar la habitabilidad real ni las necesidades del usuario final, lo que deriva en espacios repetitivos, con bajo desempeño térmico y acústico, y con dificultades para su posterior ampliación o modificación.

En contraste, el sistema basado en formworks demostró una superior adaptabilidad a obra in situ, permitiendo mantener los beneficios de la estandarización sin sacrificar la flexibilidad del diseño ni la adecuación a condiciones locales. Este sistema se apoya en paneles reutilizables que optimizan el consumo de materiales, reducen significativamente los residuos de obra y aceleran los tiempos de ejecución sin incrementar de forma sustancial los costos de implementación. Además, su curva de aprendizaje es baja y puede ser asimilada por cuadrillas tradicionales con una capacitación técnica breve y eficaz, algo imposible en el caso de los sistemas modulares.

Frente a este panorama, se identificó la inclusión de un sistema constructivo alternativo como una solución estratégica capaz de responder a dos ejes críticos de la problemática: optimización del tiempo de ejecución y mantenimiento de estándares de calidad habitacional. Esta decisión no surgió como una preferencia técnica, sino como una respuesta informada a los hallazgos empíricos obtenidos en esta primera fase.

El sistema propuesto basado en formworks y denominado Sistema Constructivo PMS presenta características que permiten abordar las fallas observadas:

1. Repetibilidad de procesos y elementos.
2. Reducción de incertidumbre en obra.

3. Menor dependencia de mano de obra altamente calificada.
4. Posibilidad de aplicar prácticas eficientes como la planificación anticipada

6.3 Resultados Fase 3: Desarrollar

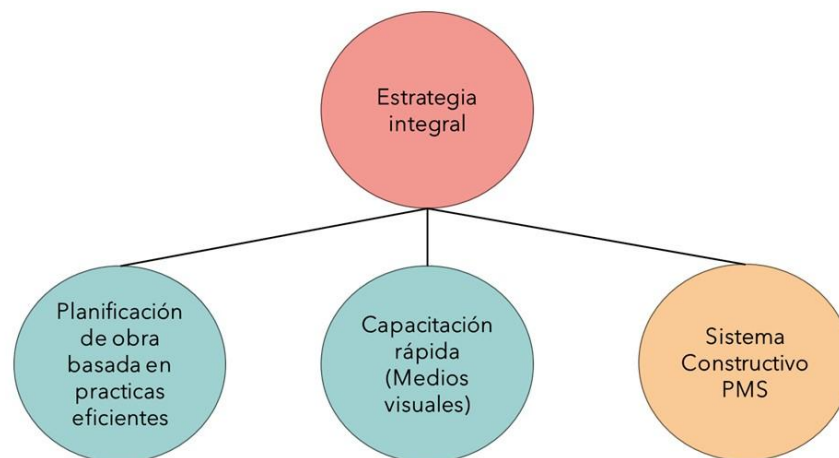


Figura 14. Esquema visual de componentes de la estrategia integral (Elaboración propia, 2024)

Estrategia integral para la implementación del sistema constructivo PMS en vivienda social: una articulación entre técnica, capacitación y gestión eficiente

La producción de vivienda de interés social (VIS) bajo esquemas convencionales ha demostrado ser insuficiente para responder, con oportunidad y calidad, a las exigencias actuales de urbanización acelerada, recursos limitados y población en condiciones de vulnerabilidad. Frente a este escenario, la presente investigación plantea una estrategia integral que articula de manera estructurada tres componentes clave para la optimización de los procesos constructivos: (1) planificación de obra basada en prácticas eficientes, (2) capacitación rápida de la

mano de obra mediante medios visuales, y (3) la implementación técnica del sistema constructivo alternativo PMS (Panel Modular en Sitio).

Esta estrategia no solo responde a una lógica operativa, sino que se fundamenta en un enfoque metodológico orientado al diseño de soluciones replicables, adaptables y sustentadas en evidencia empírica. Cada componente de la estrategia cumple una función específica dentro de un sistema interdependiente, cuyo objetivo es alcanzar un equilibrio entre tiempo y calidad en contextos de vivienda social.

Estrategia integral: estructura y función

La figura presentada ilustra la estructura de esta estrategia integral, donde cada uno de los tres componentes responde a una función concreta dentro de un sistema coordinado. A continuación, se detalla el contenido de cada elemento:

1. Planificación de obra basada en prácticas eficientes

La planificación eficiente constituye la base operativa del modelo. Lejos de replicar esquemas tradicionales basados en cronogramas genéricos o supervisión reactiva, esta propuesta incorpora herramientas propias de la filosofía Lean Construction (Koskela, 2000), tales como la segmentación de actividades, la identificación de flujos críticos y la programación por avance diario.

Este componente garantiza la continuidad operativa desde las etapas de cimentación hasta la terminación estructural, lo que permite evaluar objetivamente la eficiencia temporal del sistema PMS.

2. Capacitación rápida de la mano de obra (medios visuales)

La implementación de sistemas constructivos alternativos requiere de un proceso formativo ágil, comprensible y adaptado a las condiciones reales del personal operativo. En contextos donde la mayoría de la mano de obra es semi calificada o carece de experiencia en innovación constructiva, la capacitación tradicional basada en manuales técnicos resulta ineficaz.

Por ello, este componente prioriza el uso de medios visuales interactivos, diagramas secuenciales, videos de montaje y desmontaje, que facilitan la comprensión del sistema PMS en tiempos reducidos. Esta metodología formativa también incorpora supervisión directa en las primeras fases y un modelo progresivo de autonomía operativa.

3. Sistema constructivo PMS (Panel Modular en Sitio)

El sistema PMS representa la innovación técnica central de esta estrategia. Su diseño responde a principios de modularidad, ensamblaje racionalizado y economía de recursos, y permite ejecutar estructuras portantes mediante paneles construidos y armados en sitio, sin necesidad de maquinaria especializada ni procesos de prefabricación industrial externa.

6.4 Resultados Fase 4: Prototipar

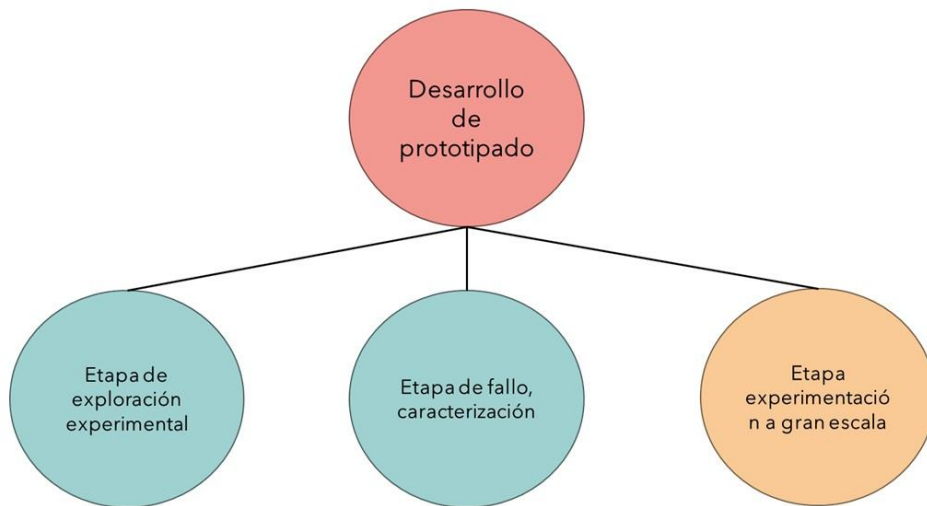


Figura 15. Esquema visual estructura de la fase de prototipado (Elaboración propia, 2024).

El proceso de desarrollo de prototipado fue estructurado en tres etapas secuenciales, cada una con un propósito técnico diferenciado que permitió avanzar desde la exploración conceptual hasta la validación empírica a escala real. La primera etapa correspondió a una fase de exploración experimental, en la que se ejecutaron prototipos elementales, como muros individuales, con el objetivo de verificar la lógica constructiva del sistema, evaluar su comportamiento técnico inicial y generar las primeras observaciones de campo. La segunda etapa, identificada como fase de fallo y caracterización, implicó una prueba intermedia en la que se intentó ejecutar un volumen espacial mayor, pero que debido a deficiencias en la supervisión operativa no pudo completarse. Sin embargo, esta etapa resultó clave para identificar los perfiles de supervisión más adecuados para implementar el sistema. Finalmente, la tercera etapa consistió en una experimentación a gran escala, mediante la construcción de las primeras cinco etapas (preliminares, excavación, cimentación, estructura y albañilería) de una bodega funcional, la cual permitió validar la viabilidad técnica del sistema bajo condiciones reales de obra, así como observar su comportamiento integrado en términos de tiempo, calidad, curva de aprendizaje y uso autónomo por parte de la cuadrilla. Esta división metodológica aseguró una progresión lógica, iterativa y controlada en la validación del sistema constructivo alternativo.

6.4.1 Resultados primera etapa experimental

Etapas 1: Preliminares

Se realizó la proyección de ubicación del muro y posterior a esto se hizo la limpieza del lugar de ubicación del muro, una vez concluido el concepto de limpieza se dio paso al trazo y nivelación. Con el fin de poder preparar el terreno para la segunda etapa. En la figura 16 se puede observar una fotografía de dicha etapa en obra civil.

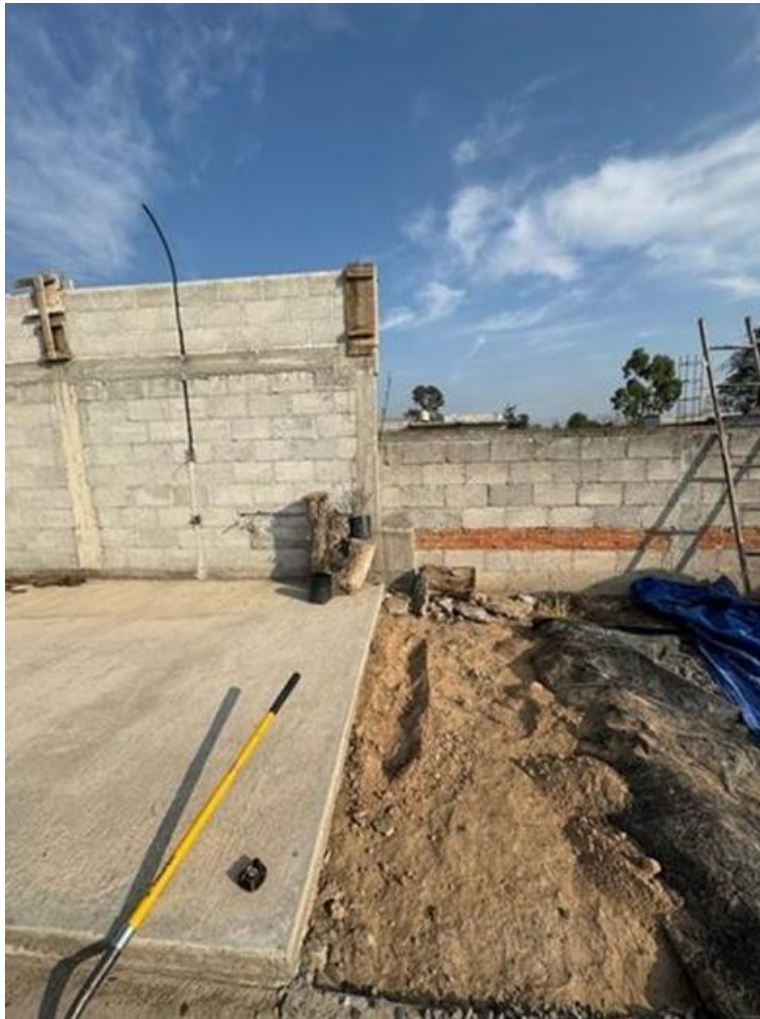


Figura 16. Ubicación de levantamiento de muro (Elaboración propia, 2024).

Etapas 2: Excavación

Se realizó el concepto de excavación de cepa por medios manuales con herramienta menor bajo una cuadrilla de dos albañiles, la excavación tenía las siguientes medidas: 0.40 metros de profundidad y 0.30 metros de ancho. Con la finalidad de que funcione como el desplante de cimentación. En la figura 17 se puede observar una fotografía de dicha etapa en obra civil en el concepto de apisonamiento de suelo.



Figura 17. Ceba de 0.40 metros de profundidad y 0.30 metros de ancho
(Elaboración propia, 2024).

Etapa 3: Cimentación

Se realizó la colocación de plástico negro dentro de la excavación, posterior a esto se coloca el acero horizontal que será ahogado en cemento y fungirá como acero para cimentación. También se amarran los aceros verticales (tanto aceros verticales como horizontales fueron armex 10-14). En la figura 18 se puede observar una fotografía de dicha etapa en obra civil bajo el concepto de colocación de aceros horizontales.



Figura 18. Colocación de plástico negro, y colocación de aceros horizontales para cimentación (Elaboración propia, 2024).

Etapas 4 y 5: Estructura y Albañilería

Se realizó la colocación del Panel Modular en Sitio (PMS) y se inicia con el colado de la estructura en módulos de 0.60 x 3.00 metros, trabajando linealmente en un periodo de dos días; para alcanzar la altura de 1.20 metros.

***Nota:** El tiempo real en el primer día fue de 17 minutos (Cimentación), segundo 13 minutos (Primera línea) y el tercero 13 minutos (Segunda línea), dando un total laborado real de 43 minutos. A continuación, en la figura 19 se muestra el concepto de colocación de PMS.



Figura 19. Colocación de PMS (Elaboración propia, 2024).

6.4.2 Tablas comparativas relación tiempo de construcción

Por medios manuales	Área (m ²)	Tiempo (min)
Partida preliminares		
Limpieza de terreno	3.6	10
Trazo y nivelación		
Partida excavación		
Excavación de cepa lineal a 0.30 por 0.40 de ancho y 3.00 largo metros	0.27	15
Compactación de excavación con pisón	0.90	15
Partida cimentación		
Colocación de plantilla de polietileno	3.6	3
Colocación de armado 0.25 x 0.15 metros para zapata corrida	1	5
Colocación de cimbra para colado De zapata corrida	x	15
Partida estructura		

Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas verticales	2	8
Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas horizontales (dala de desplante)	1	6
Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas horizontales (cerramiento de corona)	1	6
Partida albañilería		
Colocación de tabique 15-20-40 cm	3.6	172
Colocación y ajuste de cimbra para colado de cargas verticales	2	20
Colocación y ajuste de cimbra para colado de cargas horizontales	2	20
Total	Tiempo	304

Tabla 7. Tiempo en minutos de producción de muro prototipado en el SCT-1
(Elaboración propia, 2024).

Por medios manuales	Área (m ²)	Tiempo (min)
Partida preliminares		
Limpieza de terreno	3.6	10
Trazo y nivelación		
Partida excavación		
Excavación de cepa lineal a 0.30 por 0.40 de ancho y 3.00 largo metros	0.27	15
Compactación de excavación con pisón	0.90	15
Partida cimentación		
Colocación de plantilla de polietileno	3.6	3
Colocación de armado 0.25 x 0.15 metros para zapata corrida	1	5
Colocación de cimbra para colado De zapata corrida	x	15
Partida estructura		
Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas verticales	2	8
Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas horizontales (dala de desplante)	1	6

Colocación y amarre de armex 10-14 para cargas horizontales (cerramiento de corona)	1	6
Partida albañilería		
Colocación y ajuste de sistema constructivo PMS	5.4	35
Total	Tiempo	118

Tabla 8. Tiempo en minutos de producción de muro prototipado en el PMS-2
(Elaboración propia, 2024).

El sistema fue validado empíricamente durante esta investigación, y demostró su capacidad para lograr avances lineales, reducciones significativas en tiempos de obra (hasta un 40%), y condiciones óptimas de verticalidad y rigidez estructural con baja complejidad operativa.

6.4.3 Aplicación Instrumento de Evaluación Comparativa de Sistemas Constructivos (IECSC)

Al concluir el levantamiento del muro, se realiza una entrevista estructurada a la cuadrilla, compuesta por dos albañiles, utilizando un instrumento específicamente diseñado para recolectar información en tres categorías clave: calidad, tiempo y curva de aprendizaje. Este instrumento, basado en preguntas de entrevista, busca capturar una evaluación comparativa entre el Sistema Constructivo Tradicional (SCT) y el Panel Modular en Sitio (PMS).

Las preguntas están orientadas a que los albañiles reflexionen sobre aspectos específicos de cada sistema, permitiendo que cada trabajador responda desde su propia percepción y experiencia acumulada. Las respuestas obtenidas permiten identificar el sistema que, a juicio de los albañiles, mejor responde a las exigencias de cada categoría evaluada, proporcionando así datos valiosos para el análisis comparativo. Este proceso permite captar de manera integral las ventajas y desventajas percibidas de ambos sistemas constructivos, según el análisis y

observación directa de los mismos trabajadores que los implementan. En la siguiente figura 20 se muestran las categorías de cada ítem bajo un color, el azul agua corresponde a calidad, el rosa a tiempo y el gris a curva de aprendizaje.

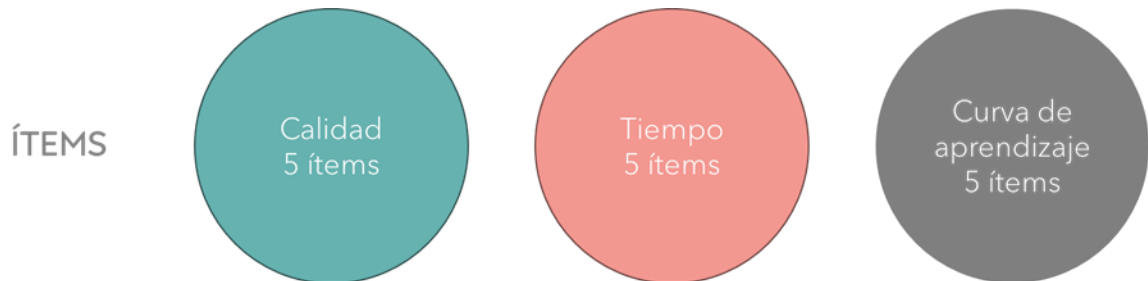


Figura 20. Categorías evaluadas por la cuadrilla (Elaboración propia, 2024).

5.3 Instrumento de evaluación comparativa de sistemas constructivos (IECSC)

Ítems de calidad

- A. ¿Cuál de los siguientes sistemas constructivos garantiza una mayor resistencia estructural?
- B. ¿Cuál sistema constructivo ofrece una mayor flexibilidad en la configuración del espacio interior?
- C. ¿Cuál sistema constructivo es más propenso a la contaminación y el daño ambiental?
- D. ¿Cuál sistema constructivo requiere más mano de obra y recursos humanos?
- E. ¿Cuál sistema constructivo es más susceptible a la degradación y el deterioro con el tiempo?

Ítems de tiempo

- A. ¿Cuál sistema constructivo requiere un tiempo de construcción más prolongado?
- B. ¿Cuál sistema constructivo permite una mayor velocidad de construcción?

*A mayor proporción el PMS y a menor (1) SCT

- C. ¿Cuál sistema constructivo requiere un mayor tiempo de preparación y planificación?
- D. ¿Cuál sistema constructivo es más propenso a retrasos y demoras en la construcción?
- E. ¿Cuál sistema constructivo permite una mayor flexibilidad en el cronograma de construcción?

Ítems de curva de aprendizaje

- A. ¿Cuál sistema constructivo es más susceptible a la obsolescencia y la necesidad de actualizaciones?
- B. ¿Cuál sistema constructivo requiere una mayor capacitación y formación para los constructores?
- C. ¿Cuál sistema constructivo es menos propenso a errores y fallos en la construcción?
- D. ¿Cuál sistema constructivo permite una mayor retroalimentación y ajuste en la construcción?
- E. ¿Cuál sistema constructivo es más fácil de aprender y dominar para los constructores?

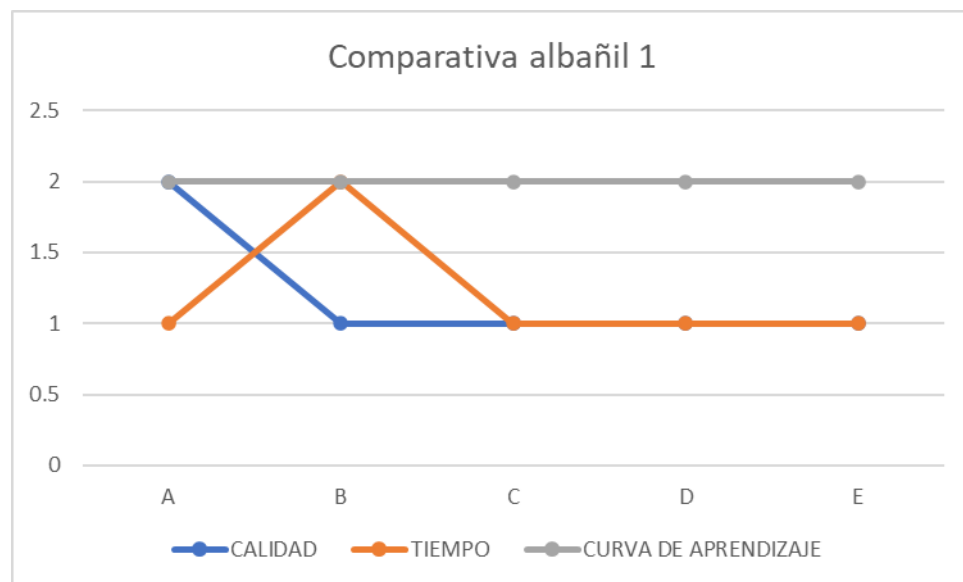
Los resultados obtenidos a través del instrumento "IECSC" fueron codificados en función del sistema constructivo evaluado, asignando el valor "1" al Sistema Constructivo Tradicional (SCT) y el valor "2" al Panel Modular en Sitio (PMS), en adelante nombrados como "SCT-1" y "PMS-2". Posteriormente, se generaron gráficas de coincidencia que permitieron identificar patrones y picos en las respuestas de los albañiles. Este análisis gráfico facilita la comparación de resultados y destaca aquellos aspectos en los que los trabajadores, desde su propia

experiencia, identificaron ventajas o limitaciones en cada sistema constructivo. Así, se logra una evaluación detallada y visualmente clara de las percepciones y comparaciones realizadas por quien ejecuta.

6.4.4 Tablas y gráficas de resultados de instrumento

ALBAÑIL 1	ÍTEM	CALIDAD	TIEMPO	CURVA DE APRENDIZAJE
	A	2	1	2
	B	1	2	2
	C	1	1	2
	D	1	1	2
	E	1	1	2

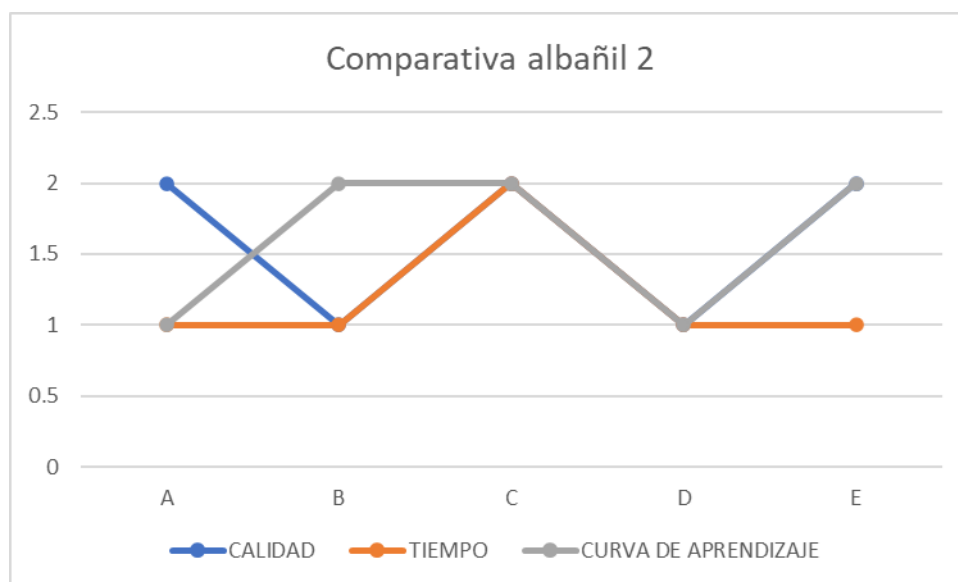
Tabla 9. Resultados codificados del albañil número 1, encuesta de validación, “SCT-1” y “PMS-2” (Elaboración propia, 2024).



Gráfica 1. Resultados codificados de encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).

ALBAÑIL 2	ÍTEM	CALIDAD	TIEMPO	CURVA DE APRENDIZAJE
	A	2	1	1
	B	1	1	2
	C	2	2	2
	D	1	1	1
	E	2	1	2

Tabla 10. Resultados codificados del albañil número 2, encuesta de validación, “SCT-1” y “PMS-2” (Elaboración propia, 2024).

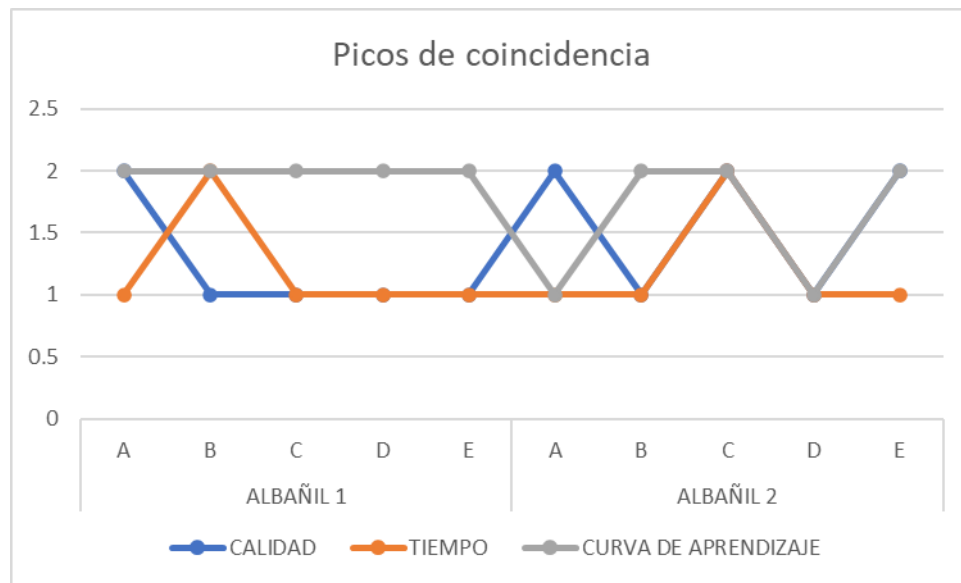


Gráfica 2. Resultados codificados de encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).

6.4.5 Análisis por coincidencia de los resultados

El análisis por coincidencia se lleva a cabo mediante la comparación de respuestas similares dadas por los trabajadores a lo largo del cuestionario, con el propósito de identificar patrones recurrentes en sus percepciones sobre cada sistema constructivo. Para ello, se agrupan las respuestas codificadas y se representan gráficamente, de manera que las coincidencias en las respuestas, es decir, aquellos puntos en los que los trabajadores expresan percepciones similares respecto a un aspecto particular, se visualicen como picos de frecuencia. Estos picos reflejan

áreas de consenso, permitiendo una interpretación clara sobre las fortalezas y debilidades percibidas en cada sistema constructivo, desde la experiencia directa de quienes los operan. El análisis facilita así una comparación objetiva basada en la percepción práctica de los albañiles, resaltando las características de mayor y menor aceptación en cada sistema.



Gráfica 3. Resultados de picos de coincidencia en la encuesta de validación, visualización en gráfica (Elaboración propia, 2024).

Ítems de calidad

En estos ítems se encontró coincidencia en las siguientes preguntas:

- A. ¿Cuál de los siguientes sistemas constructivos garantiza una mayor resistencia estructural?
- B. ¿Cuál sistema constructivo ofrece una mayor flexibilidad en la configuración del espacio interior?
- D. ¿Cuál sistema constructivo tiene mayor dependencia de la calidad de la mano de obra y/o los recursos humanos disponibles?

COINCIDENCIA	ÍTEM	CALIDAD
	A	2
	B	1
	C	
	D	1
	E	

Tabla 11. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem calidad (Elaboración propia, 2024).

En el análisis de las respuestas obtenidas, se identificaron coincidencias significativas en las percepciones de los albañiles sobre los dos sistemas constructivos evaluados. En la pregunta (A), referida a la resistencia estructural, ambos trabajadores coincidieron en que el sistema constructivo PMS-2 presenta una mayor capacidad de resistencia en comparación con el SCT-1. Esta percepción compartida sugiere una valoración positiva del PMS-2 en cuanto a su robustez y durabilidad, lo cual puede estar influenciado por la estructura modular y la rigidez inherente del sistema.

En contraste, para las preguntas (B) y (D), los trabajadores coincidieron en su preferencia por el SCT-1. En la pregunta (B), orientada a la flexibilidad en la configuración del espacio interior, ambos señalaron que el SCT ofrece mayor adaptabilidad, permitiendo modificaciones y distribuciones espaciales que se ajustan mejor a diferentes necesidades y estilos de diseño. Asimismo, en la pregunta (D), que aborda el que sistema tiene mayor dependencia de la calidad de mano de obra y/o recursos humanos, los albañiles señalaron que el SCT-1 demanda una mayor cantidad de personal y tiempo, debido a los procesos constructivos manuales y las técnicas de ensamblaje convencionales. Estos hallazgos reflejan una perspectiva técnica y práctica, basada en la experiencia, y permiten una comprensión más detallada de las ventajas y limitaciones percibidas en cada sistema desde la óptica de los trabajadores. Concluir con que es mejor en términos de que.

Ítems de tiempo

En estos ítems se encontró coincidencia en las siguientes preguntas:

A. ¿Cuál sistema constructivo requiere un tiempo de construcción más prolongado?

D. ¿Cuál sistema constructivo es más propenso a retrasos y demoras en la construcción?

E. ¿Cuál sistema constructivo permite una mayor flexibilidad en el cronograma de construcción?

COINCIDENCIA	ÍTEM	TIEMPO
	A	1
	B	
	C	
	D	1
	E	1

Tabla 12. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem tiempo (Elaboración propia, 2024).

El análisis de las respuestas de los trabajadores en torno a los tiempos y la flexibilidad del proceso constructivo reveló coincidencias en su preferencia por el SCT-1 en todas las preguntas evaluadas. En la pregunta (A), referente al tiempo de construcción, ambos trabajadores señalaron que el SCT-1 requiere un tiempo de construcción más prolongado, lo cual podría deberse a la naturaleza de sus procesos manuales y al uso intensivo de técnicas convencionales, que, aunque robustas, suelen demandar un ritmo de avance más pausado y detallado.

Asimismo, en la pregunta (D), los trabajadores coincidieron en que el SCT-1 es más propenso a retrasos y demoras, posiblemente como resultado de la dependencia de factores externos como la disponibilidad de materiales, las condiciones climáticas y la intervención de diversos especialistas en el proceso. Esta percepción refleja una preocupación práctica, ya que la implementación del SCT-1 puede verse afectada

por una mayor cantidad de imprevistos en comparación con sistemas más estandarizados.

Finalmente, en la pregunta (E), ambos trabajadores indicaron que el SCT-1 permite una mayor flexibilidad en el cronograma de construcción, dado que los tiempos pueden adaptarse en función de las demandas del proyecto y los ajustes requeridos en sitio. Esta flexibilidad, aunque puede ser una ventaja para ajustar el ritmo de trabajo, podría también extender los tiempos generales del proyecto. En conjunto, estas coincidencias destacan que, desde la perspectiva de los albañiles, el SCT-1 es un sistema que, aunque adaptable, conlleva desafíos significativos en términos de tiempo y programación, lo cual debe considerarse al evaluar su eficiencia frente a alternativas más industrializadas.

Ítems de curva de aprendizaje

En estos ítems se encontró coincidencia en las siguientes preguntas:

B. ¿Cuál sistema constructivo requiere una mayor capacitación y formación para los constructores?

C. ¿Cuál sistema constructivo es menos propenso a errores y fallos en la construcción?

E. ¿Cuál sistema constructivo es más fácil de aprender y dominar para los constructores?

COINCIDENCIA	ÍTEM	CURVA DE APRENDIZAJE
	A	
	B	2
	C	2
	D	
	E	2

Tabla 13. Resultados codificados de encuesta de validación coincidencia por ítem de curva de aprendizaje (Elaboración propia, 2024).

En el análisis de las respuestas de los trabajadores sobre la capacitación y facilidad de uso de los sistemas constructivos, se observó una coincidencia notable en la preferencia por el sistema constructivo alternativo, en este caso, PMS-2. En la pregunta (B), los trabajadores indicaron que el PMS-2 requiere una mayor capacitación y formación inicial, lo cual podría explicarse por el uso de materiales y métodos no convencionales en comparación con el SCT-1. La implementación de este sistema alternativo demanda una adaptación en la forma de trabajo y el dominio de nuevas habilidades técnicas, lo cual puede representar un desafío inicial, pero también una oportunidad para elevar el nivel de especialización del personal.

Respecto a la pregunta (C), ambos trabajadores perciben que el PMS-2 es menos propenso a errores y fallos en la construcción. Esta percepción sugiere que la precisión de los elementos modulares y la estandarización de los procedimientos propios del sistema alternativo contribuyen a reducir la posibilidad de errores humanos durante la ejecución. Los componentes prefabricados y el ensamblaje preciso que caracteriza al PMS-2 permiten un control de calidad más riguroso, minimizando los márgenes de error y favoreciendo la consistencia del resultado final.

Finalmente, en la pregunta (E), ambos trabajadores coincidieron en que el PMS-2 resulta más fácil de aprender y dominar para los constructores una vez completada la etapa inicial de capacitación. Esto se debe a que el sistema modular simplifica varios procesos constructivos mediante instrucciones claras y repetibles, lo cual facilita la familiarización de los trabajadores y optimiza el tiempo de aprendizaje. En conjunto, estas coincidencias reflejan que, desde la perspectiva de los trabajadores, el PMS-2 es un sistema constructivo que, aunque exige una capacitación inicial más elevada, proporciona una mayor seguridad en la ejecución y una curva de aprendizaje más rápida y sencilla en comparación con métodos tradicionales.

Para profundizar en la eficiencia y tiempos de ejecución de los sistemas constructivos evaluados, se ha desarrollado un análisis detallado a partir de tablas

comparativas. Estas tablas documentan el tiempo requerido para construir un muro de dimensiones específicas: 3.00 metros de largo, 1.20 metros de altura y 0.15 metros de espesor, considerando el tiempo de trabajo de cada sistema. La medición se realizó en minutos para cada una de las cinco etapas evaluadas, registrando con precisión todos los conceptos involucrados en cada fase mediante el uso de un cronómetro digital colocado en obra.

Es importante señalar que en esta evaluación solo se contabilizó el tiempo de ejecución del sistema constructivo alternativo PMS-2, mientras que los datos correspondientes al SCT-1 son estimaciones teóricas tomadas del Libro Universal de Análisis de Precios Unitarios, 2021. Este manual desglosa los tiempos y rendimientos por concepto, así como los jornales estimados para cuadrillas de trabajo en una jornada de 8 horas, permitiendo una base comparativa estandarizada. Mediante esta metodología, se busca obtener una visión objetiva de las diferencias en rapidez y eficiencia de ambos sistemas, y se proporciona una base fundamentada para la toma de decisiones en términos de rendimiento temporal de cada tecnología constructiva.

6.4.6 Resultados segunda etapa experimental

El valor de este segundo acercamiento, aunque limitado en su alcance constructivo, radicó en el aprendizaje operativo profundo que ofreció respecto a la caracterización necesaria del perfil de supervisión técnica en contextos de implementación de nuevos sistemas. En este caso, el desarrollo incompleto de la intervención funcionó como un escenario real de validación no del sistema constructivo, sino de las condiciones institucionales y humanas que deben acompañar su aplicación. Este tipo de hallazgos cualitativos son frecuentemente subvalorados en investigaciones técnicas, pero resultan fundamentales en el tránsito de la innovación técnica hacia su inserción efectiva en entornos productivos reales.

Este hallazgo reforzó la noción de que la transferencia tecnológica en la construcción no es un fenómeno exclusivamente material, sino que exige la

configuración de entornos humanos, profesionales y logísticos capaces de sostener la innovación. Así, la supervisión en obra deja de ser una función meramente administrativa o correctiva para posicionarse como una pieza clave en la sostenibilidad y replicabilidad de este sistema constructivo alternativo al cual denominamos PMS. A continuación, se muestra el perfil idóneo del supervisor de obra en la Figura 21.

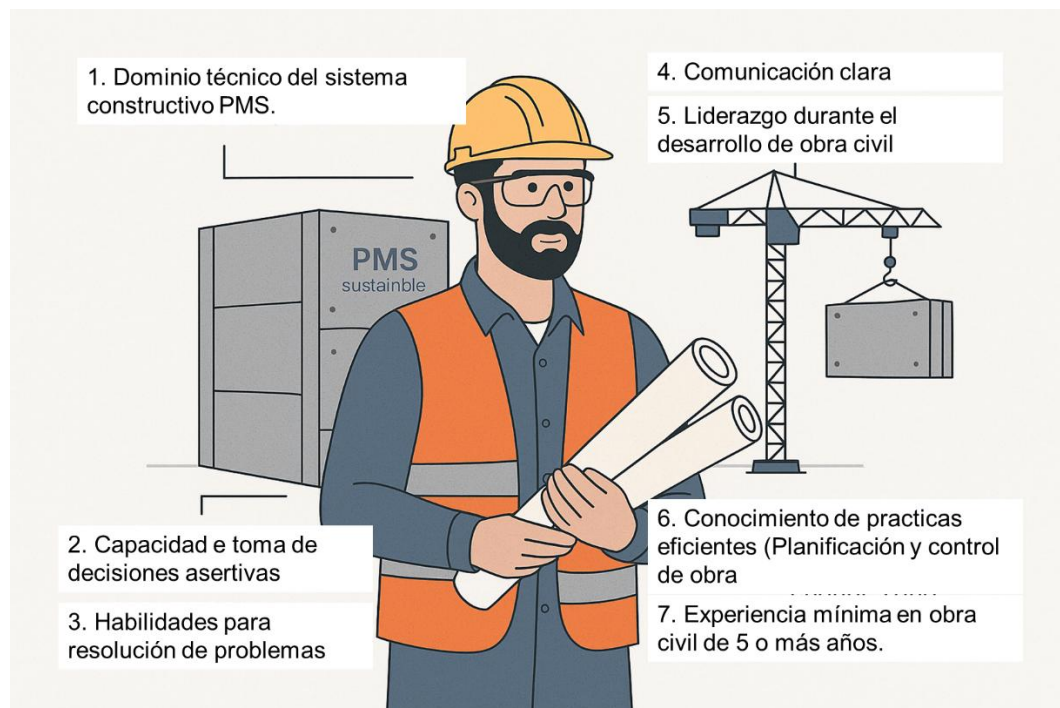


Figura 21. Perfil ideal de un supervisor de obra que aplicara el sistema constructivo alternativo PMS (Elaboración propia, 2025).

Tras los aprendizajes obtenidos en los dos acercamientos anteriores, el primero centrado en la ejecución de elementos individuales y el segundo afectado por deficiencias en la supervisión técnica, el tercer acercamiento experimental representó una fase de consolidación práctica y validación integral del sistema constructivo alternativo. En esta ocasión, se ejecutó la construcción de una bodega funcional de dimensiones 3.00 x 6.00 metros y una altura máxima de 2.70 metros, concebida como una unidad espacial cerrada con exigencias estructurales, logísticas y constructivos equivalentes a una edificación habitacional básica.

6.4.7 Resultados tercera etapa experimental

Este acercamiento logró cumplir en su totalidad los objetivos de la experimentación, completando la construcción de una unidad estructural completa bajo condiciones de campo, con los recursos disponibles localmente, sin maquinaria especializada, y empleando exclusivamente la estrategia integral basada en la inclusión de prácticas eficientes y la aplicación del sistema constructivo propuesto.

Un elemento importante a destacar en este proceso fue la incidencia climática, ya que durante el desarrollo del prototipo se presentaron interrupciones provocadas por lluvias intensas, lo que derivó en una duración total de 9 días calendario hasta la finalización completa de la obra. Sin embargo, si se contabilizan únicamente los días efectivos de trabajo, es decir, aquellos en los que se pudo operar con continuidad, únicamente se registraron 6 días reales de actividad, durante los cuales se ejecutaron de manera secuencial y eficiente las cinco etapas constructivas definidas en el modelo de análisis:

ETAPAS	
1	PRELIMINARES
2	EXCAVACIÓN
3	CIMENTACIÓN
4	ESTRUCTURA
5	ALBAÑILERÍA

Tabla 14. Etapas de análisis durante el desarrollo de obra civil.

Preparación del proyecto

La planificación del proyecto se estructura en función de las cinco etapas clave que serán abordadas, asegurando una alineación precisa de los recursos necesarios para cumplir con el objetivo establecido en un plazo de siete días. Paralelamente, se elabora la planimetría detallada y pertinente que servirá como base técnica para

la correcta ejecución del proyecto.

Etapa de Obra Civil	Planeación proyectada en días Sistema Constructivo PMS
Preliminares	1
Excavación	1
Cimentación	1
Estructura	5
Albañilería	
Total días operativos	8

Tabla 15. Planeación proyectada (generalizada) para la implementación del Sistema Constructivo PMS.

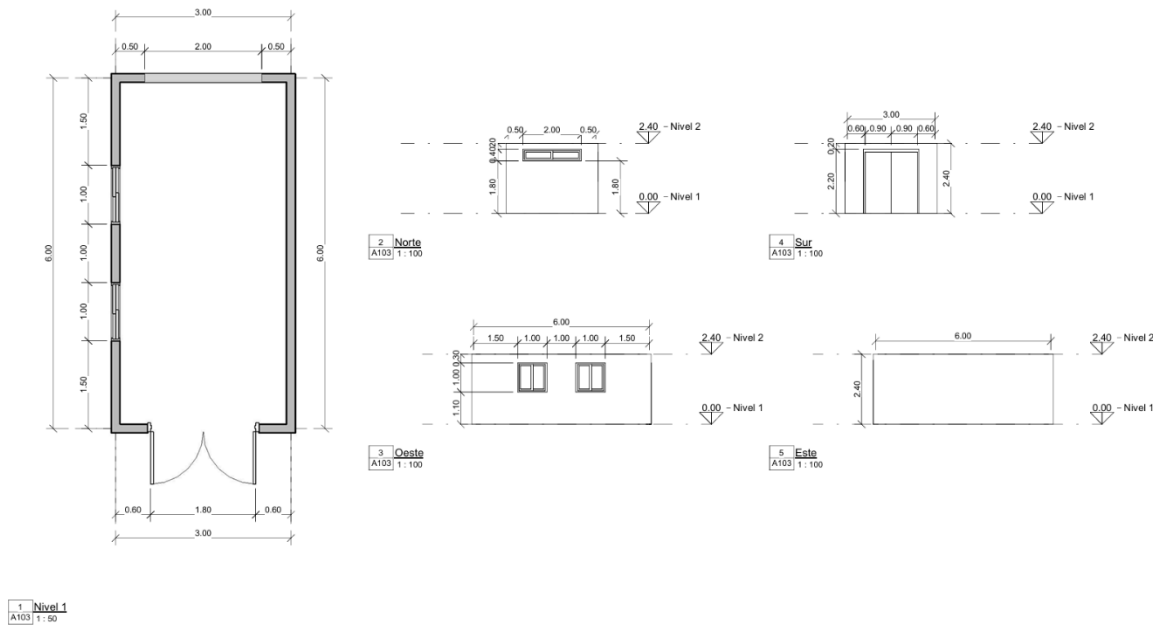


Figura 22. Planimetría utilizada para la ejecución de obra (Elaboración propia, Revit, 2025).

Etapa 1: Preliminares

Se realizó la proyección de ubicación del proyecto de bodega con las siguientes dimensiones 3.00 x 6.00 x 2.70 h, y posterior a esto se realizó la limpieza del sitio, una vez concluido el concepto de limpieza se dio paso al trazo y nivelación. Con el fin de poder preparar el terreno para la segunda etapa. En la Figura 22 y 23 se pueden observar dos fotografías que corresponden al desarrollo de esta etapa en la obra civil de este proyecto.



Figura 23. Proyección de la bodega en sitio (Elaboración propia, 2025).



Figura 24. Trazo y nivelación en el sitio (Elaboración propia, 2025).

Etapas 2: Excavación

Se realizó el concepto de excavación de cepa por medios mecánicos con retroexcavadora, la excavación tenía las siguientes medidas: 1.20 metros de profundidad y 0.80 metros de ancho. Con la finalidad de que funcione como el desplante de cimentación. En la Figura 25 se puede observar una fotografía de la retroexcavadora operando durante la excavación y en la Figura 26, podemos observar el concepto de relleno y compactación de tepetate con el fin de dejar el área preparada para la siguiente etapa de cimentación.



Figura 25. Retroexcavadora operando en la etapa de excavación (Elaboración propia, 2025).



Figura 26. Relleno y compactación con tepetate de la cepa resultante de la excavación (Elaboración propia, 2025).

Etapa 3: Cimentación

Se realizó la colocación del sistema constructivo PMS en la cepa compacta como podemos observar en la Figura 27, para posteriormente colocar en forma de cuneta (dentro del PMS) el plástico negro de construcción, tal cual se observa en la Figura 28, después de esto se coloca el acero horizontal que será ahogado en cemento y fungirá como acero para cimentación. También se amarran los aceros verticales (tanto aceros verticales como horizontales fueron armex 10-10). En la Figura 29, se puede observar una fotografía que responde al concepto de colocación de aceros horizontales y verticales. Por último, se realiza el primer colado del sistema constructivo PMS correspondiente al día uno (cimentación). La Figura 30, muestra el desarrollo final del día uno de la aplicación del PMS.



Figura 27. Armado del sistema constructivo PMS en la cepa previamente nivelada y compactada (Elaboración propia, 2025).



Figura 28. Colocación de plástico negro de construcción en forma de cuneta dentro del PMS (Elaboración propia, 2025).

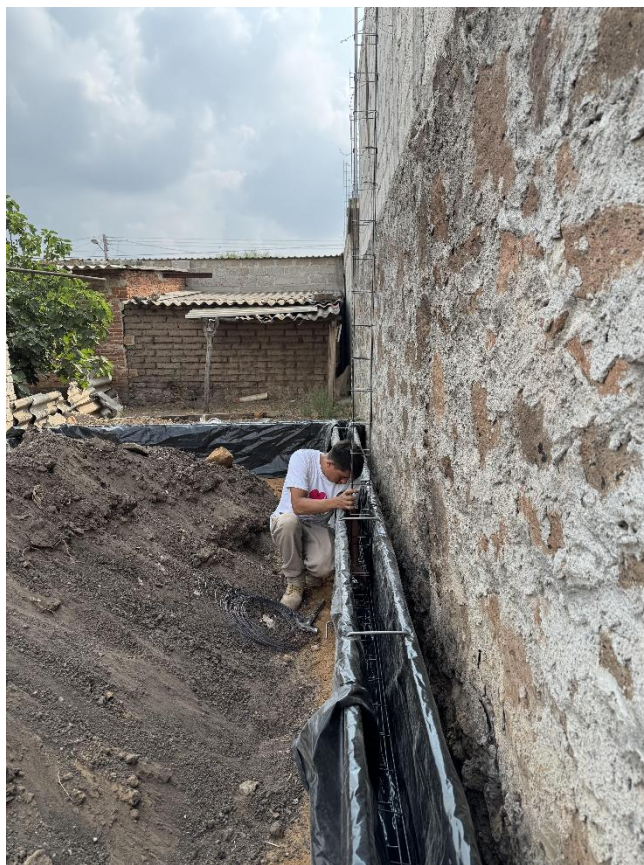


Figura 29. Colocación de aceros horizontales y verticales (armex 10-10)
(Elaboración propia, 2025).



Figura 30. Colado concluido del primer día de utilización del PMS correspondiente a la etapa de cimentación. (Elaboración propia, 2025).

Etapas 4 y 5: Estructura y Albañilería

Se realizó el desmontaje del PMS de la cimentación y se prepara para la colocación del segundo día de colado correspondientes a la conjunción de etapas de estructura y albañilería. En la Figura 31 y 32, se pueden observar fotografías con el desmontaje en cimentación y el montaje en la segunda línea de colado.



Figura 31. Desmontaje del PMS correspondiente a la etapa de cimentación.
(Elaboración propia, 2025).



Figura 32. Montaje del PMS correspondiente a la etapa de estructura y albañilería
(segundo día de colado, primera línea de albañilería) (Elaboración propia, 2025).

Posteriormente se realiza el colado correspondiente al día dos, siendo la primera línea de albañilería. Diariamente con un tiempo real de operación se trabajan 3 horas, estructuradas de la siguiente forma: 1 hora en el desmontaje de la línea anterior y el montaje de la línea superior, y 2 horas en el colado de 18 metros lineales (10.56 metros cúbicos). Que responden al avance diario durante los 5 días establecidos para estas etapas. En la Figura 33, se observa la colocación del ultimo PMS, siendo preparado para el último día de colado y alcanzar la altura deseada.



Figura 33. Preparación de la última línea para recibir el colado (sexto día de colado, quinta línea de albañilería) (Elaboración propia, 2025).

***Nota:** El tiempo real en el primer día fue de 3 horas y 30 minutos (Cimentación), segundo 3 horas y 17 minutos (Primera línea-albañilería), el tercero 3 horas (Segunda línea-albañilería), el cuarto 3 horas (Tercera línea-albañilería) y el quinto 1 hora y 56 minutos dando un total operativo real de 14 horas y 3 minutos. A

continuación, en la Figura 34, 35, 36, 37 y 38, se muestra el producto final (bodega de 3.00 x 6.00 metros, hasta la etapa de albañilería) obtenido antes y después del desmontaje del último PMS.



Figura 34. Primer fotografía del producto final (Elaboración propia, 2025).



Figura 35. Segunda fotografía del producto final (aperturas- vanos en sistema constructivo PMS) (Elaboración propia, 2025).



Figura 36. Tercera fotografía del producto final (aperturas- vanos en sistema constructivo PMS) (Elaboración propia, 2025).



Figura 37. Cuarta fotografía del producto final sin el PMS (Elaboración propia, 2025).



Figura 38. Quinta fotografía del producto final sin el PMS (Elaboración propia, 2025).

6.4.8 Análisis de resultados tercera etapa experimental

Durante el desarrollo del proyecto, se presentó una variación significativa en el tiempo inicialmente planeado para la ejecución de la obra. Esta desviación se atribuye principalmente a la incidencia de una variable externa, específicamente las condiciones climatológicas adversas, que generaron un aumento considerable en los niveles de ruido ambiental. Como consecuencia directa de estas condiciones, fue necesario suspender las actividades de construcción durante tres días no consecutivos, lo que impactó en la continuidad y ritmo de la obra.

A continuación, se presenta la Tabla 16, la planificación generalizada que refleja el cronograma actualizado una vez finalizada la obra, incluyendo las modificaciones derivadas de las interrupciones mencionadas.

Etapa de Obra Civil	Planeación proyectada en días Sistema Constructivo PMS
Preliminares	1
Excavación	1
Cimentación	1
Estructura	5
Albañilería	
Clima-lluvias	3
Total días operativos	11

Tabla 16. Planeación operativa real del proyecto (generalizada) para la implementación del Sistema Constructivo PMS (Elaboración propia, 2025).

Este fenómeno climático imprevisto obligó a realizar ajustes en la planificación original, afectando tanto la programación de tareas como la asignación de recursos. La suspensión temporal de las labores se implementó con el fin de garantizar la seguridad del personal y la calidad del trabajo, así como para cumplir con las normativas ambientales y laborales vigentes.

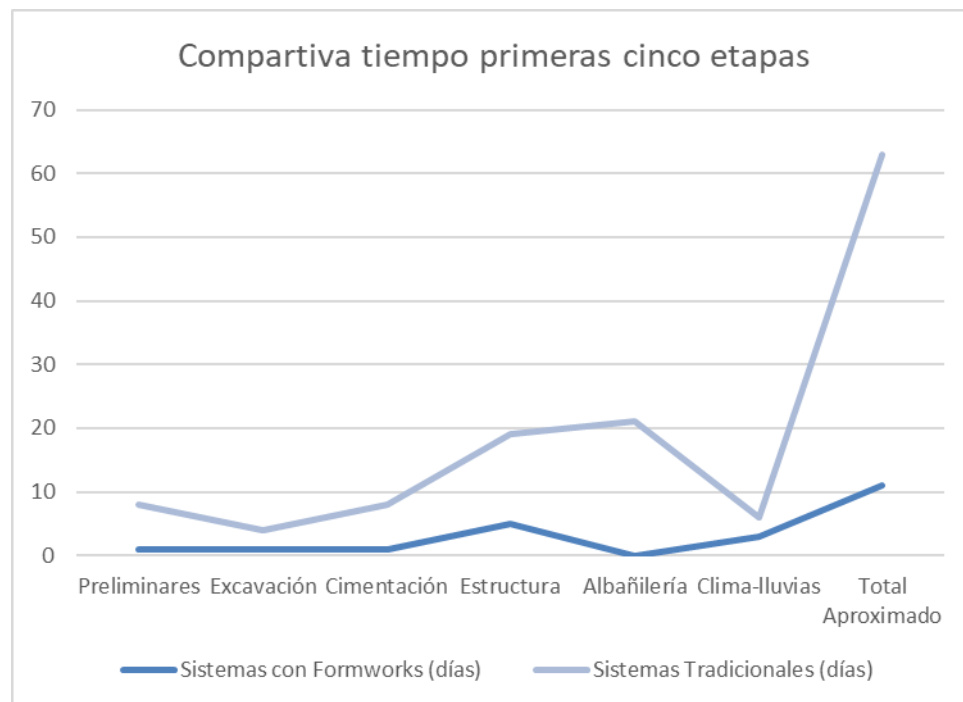
Este ritmo de ejecución evidencia que, aun bajo condiciones climáticas adversas, el sistema tiene la capacidad de mantener la eficiencia temporal, lo cual es de gran relevancia en regiones del país donde las lluvias representan un obstáculo recurrente.

La evidencia obtenida en esta fase fortaleció el planteamiento general de la investigación, al demostrar que un sistema constructivo alternativo bien planificado, acompañado de prácticas eficientes, puede optimizar tiempos de obra, facilitar el aprendizaje operativo y mantener niveles adecuados de calidad, incluso en entornos con recursos limitados.

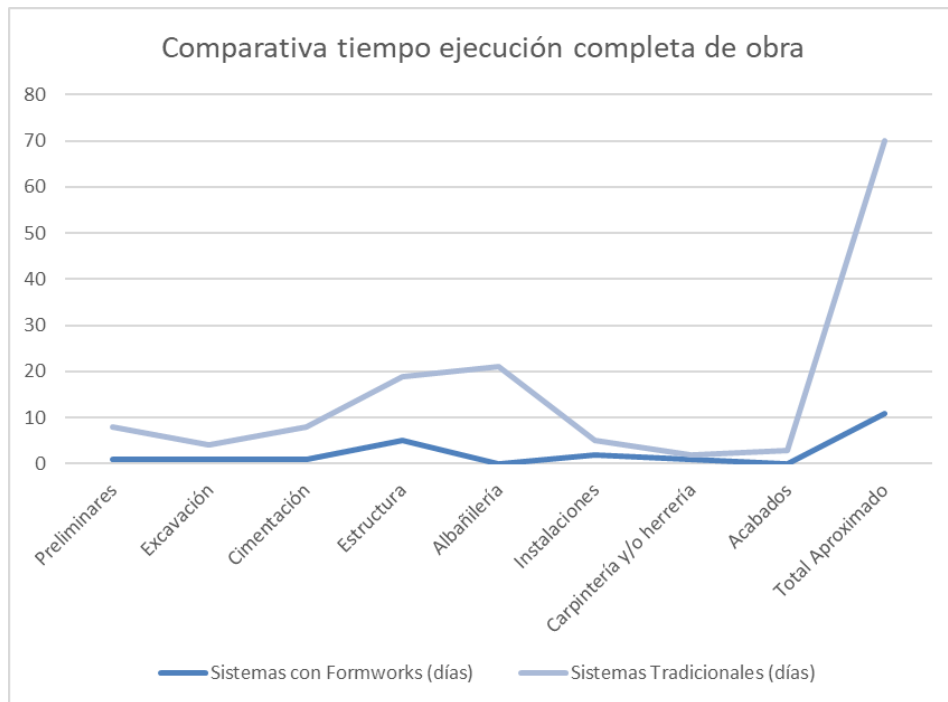
Finalmente, esta fase validó la necesidad de adoptar enfoques metodológicos que no se limiten a la conceptualización o simulación digital, sino que incorporen el ensayo físico como eje central de validación tecnológica en proyectos de innovación constructiva. En el caso de la vivienda social, donde los márgenes de error son

estrechos y la necesidad de soluciones escalables es urgente, el prototipado no es un lujo, sino un componente esencial del rigor técnico y ético en el diseño de soluciones replicables.

6.4.9 Gráficos comparativos entre sistemas constructivos

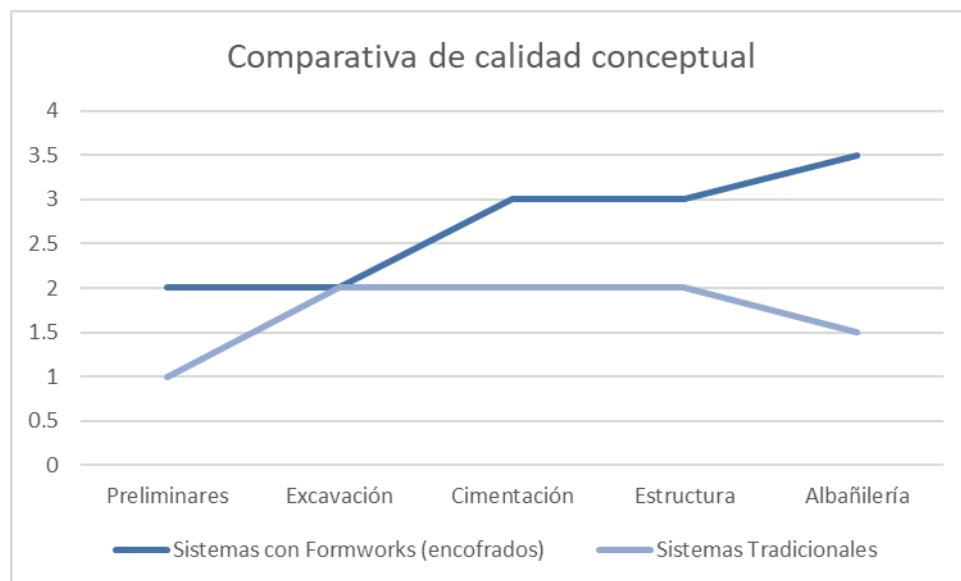


Gráfica 4. Comparativa de la variable tiempo entre el sistema constructivo tradicional y sistema constructivo alternativo PMS. Incluye días no operados por lluvias. (Elaboración propia, 2025).



Gráfica 5. Comparativa de la variable tiempo entre el sistema constructivo tradicional y sistema constructivo alternativo PMS. Proyección de ejecución de obra completa. (Elaboración propia, 2025).

En la Gráfica 6, se codifican valores de percepción de calidad baja, media y alta. Quedando de la siguiente forma baja-1, media-2 y alta-3.



Gráfica 6. Comparativa de la variable calidad entre el sistema constructivo tradicional y sistema constructivo alternativo PMS (Elaboración propia, 2025).

Analizando las líneas podemos observar que la línea correspondiente al sistema constructivo PMS se mantiene en el 2 y alcanza máximos de 3, esto se debe a que el sistema se basa en la replicabilidad y estandarización de procesos durante el proyecto, dejando de lado la total dependencia de la mano de obra, para alcanzar calidad. En cambio, el sistema constructivo tradicional responde a que conforme avanza el proceso, este tenga mayor dependencia de las aptitudes de mano de obra, afectando la calidad del proyecto.

VII. Discusión y conclusiones

La implementación del sistema constructivo alternativo denominado PMS ha mostrado ser una estrategia eficaz para optimizar el tiempo de producción en el ámbito de la construcción de elementos constructivos, sin comprometer la calidad de las edificaciones. La reducción del 38.81% en los tiempos de producción es un indicador claro de las ventajas que este sistema ofrece, especialmente en proyectos que requieren tiempos de entrega acelerados, como es el caso de la vivienda social.

Esta mejora no solo tiene implicaciones en términos de eficiencia operativa, sino también en aspectos económicos y sociales, lo que subraya su relevancia en la industria constructiva actual. En términos de productividad, el sistema PMS puede considerarse un avance tecnológico significativo. La capacidad de acelerar los tiempos de construcción sin incurrir en fallos estructurales o deficiencias en la calidad es crucial en una industria donde los retrasos y los sobrecostos son comunes. Los resultados obtenidos en la investigación sugieren que PMS no solo reduce los tiempos de producción, sino que podría impactar positivamente en la reducción de costos indirectos, como el gasto en salarios de mano de obra y el uso de equipos y maquinaria.

De esta forma, el sistema se alinea con una tendencia global hacia la eficiencia en la construcción, proporcionando una solución que podría ser replicada a gran escala.

En primer lugar, es importante destacar que una reducción del 38.81% en el tiempo de producción representa una mejora notable en términos de productividad y eficiencia. Tradicionalmente, la construcción ha sido un sector caracterizado por cronogramas largos, imprevistos en obra y dependencia de mano de obra intensiva. La implementación del PMS rompe con esta tendencia al ofrecer una alternativa que, además de agilizar el proceso, podría reducir costes indirectos asociados a la duración de las obras, como los gastos en salarios, alquiler de maquinaria y otros recursos.

El impacto de este sistema no solo se limita a la rapidez de la construcción. Una reducción en el tiempo de ejecución también puede traducirse en una respuesta más rápida a la demanda de vivienda social, un sector en el que los tiempos prolongados de construcción han sido históricamente un obstáculo para la satisfacción de las necesidades habitacionales. La posibilidad de completar proyectos en menor tiempo permite que las viviendas sean ocupadas antes, lo que a su vez puede reducir el déficit habitacional de manera más eficiente.

Otro aspecto relevante es la consistencia y calidad de los elementos constructivos producidos mediante el PMS. Si bien el objetivo principal de la implementación era la reducción de tiempos, la calidad de la construcción no debe verse comprometida. En este sentido, los resultados no indican ninguna deficiencia en la calidad de los elementos, lo que sugiere que el sistema es capaz de mantener altos estándares constructivos a pesar de la reducción de tiempo. Esto es crucial en la vivienda social, donde la durabilidad y seguridad de las viviendas son fundamentales.

Además, esta mejora en la productividad podría tener un impacto económico directo en los costos totales de los proyectos. Menores tiempos de construcción implican una reducción en los costos operativos y de mano de obra, lo que podría hacer que

las viviendas sociales sean más accesibles tanto para los desarrolladores como para los beneficiarios finales. En un contexto donde los presupuestos suelen ser limitados, cualquier optimización de este tipo es bienvenida y puede favorecer la ejecución de un mayor número de proyectos.

Sin embargo, aunque los resultados son prometedores, es necesario realizar más investigaciones y pruebas para evaluar cómo el sistema PMS se adapta a diferentes tipos de proyectos y condiciones constructivas. Por ejemplo, podrían surgir diferencias en la efectividad del sistema dependiendo del clima, la ubicación geográfica, o las características específicas de los materiales utilizados. Además, sería importante analizar cómo se comporta el sistema en la construcción de estructuras más complejas, como edificios de varios pisos, donde los desafíos constructivos son mayores.

Los resultados del estudio también revelan que el sistema constructivo PMS (Paneles Modulares en Sitio) presenta importantes ventajas en términos de tiempo en comparación con los sistemas tradicionales de construcción. Esta superioridad temporal se debe fundamentalmente a la integración de varios procesos que, en la construcción tradicional, se realizan de manera secuencial individual. En el sistema tradicional, etapas como la estructura y albañilería se llevan a cabo en etapas distintas, cada una de las cuales requiere una coordinación precisa entre diferentes equipos y oficios, lo que inevitablemente prolonga los tiempos de construcción. En contraste, el sistema PMS permite que estas etapas se ejecuten de manera conjunta. Los paneles modulares en sitio combinan estructura y albañilería en una sola etapa, lo que elimina la necesidad de realizar cada una de estas tareas por separado.

Además, el proceso de ensamblaje de los paneles PMS es significativamente más rápido y sencillo, dado que estos componentes son prefabricados y requieren menos ajustes *in situ*. La prefabricación en un entorno controlado también contribuye a minimizar errores, que son comunes en la construcción tradicional debido a variaciones en las condiciones del sitio y la mano de obra. Este nivel de

precisión y eficiencia no solo acelera la construcción, sino que también asegura una calidad más consistente.

En términos de gestión de proyectos, la utilización del sistema PMS facilita una mejor planificación y logística. La entrega y ensamblaje de paneles PMS pueden programarse con mayor precisión, optimizando el flujo de trabajo en el sitio de construcción y reduciendo tiempos de espera entre fases. Esta optimización no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a un uso más eficaz de los recursos humanos y materiales. Por último, la ventaja temporal del sistema PMS tiene implicaciones económicas significativas. Al reducir el tiempo de construcción, se disminuyen los costos asociados a la mano de obra y al alquiler de equipos y maquinarias.

Además, permite una más rápida puesta en servicio de las viviendas, lo que es crucial en proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS), donde la demanda de entrega rápida y eficiente es alta.

De esta forma, el sistema se alinea con una tendencia global hacia la eficiencia en la construcción, proporcionando una solución que podría ser replicada a gran escala.

Un aspecto relevante a destacar es el potencial impacto que PMS podría tener en la solución del déficit habitacional, especialmente en países en vías de desarrollo o en zonas con alta demanda de vivienda social. La capacidad de reducir el tiempo de entrega de las unidades habitacionales significa que más personas podrían acceder a una vivienda en menor tiempo, lo que contribuiría directamente a mejorar las condiciones de vida de miles de familias. En este sentido, PMS podría convertirse en una herramienta clave para gobiernos y desarrolladores en la planificación y ejecución de proyectos habitacionales a gran escala, en los que la velocidad de ejecución es un factor determinante.

No obstante, es esencial considerar que, aunque los resultados obtenidos son altamente prometedores, es necesario llevar a cabo evaluaciones adicionales para

validar la versatilidad y aplicabilidad del sistema PMS en distintos entornos constructivos. Esto implica realizar pruebas en diversas condiciones climáticas, tipos de terreno y diferentes tipos de edificaciones para garantizar que el sistema mantenga su efectividad en situaciones más complejas y exigentes. Igualmente, será necesario examinar su impacto en la construcción de estructuras de mayor envergadura, como edificios de varios pisos, para determinar si las mejoras en tiempo de producción se mantienen en proyectos de mayor complejidad.

Otro factor a tener en cuenta es la posible resistencia al cambio dentro del sector de la construcción. La adopción de nuevos sistemas constructivos requiere de capacitación y adaptación por parte de los trabajadores y profesionales involucrados, así como de la superación de las barreras institucionales y normativas que puedan

existir. A pesar de que los resultados muestran mejoras claras, será crucial promover la formación adecuada y un marco regulatorio que facilite la implementación del PMS de manera más amplia.

En conclusión, la incorporación del sistema PMS representa un avance importante hacia la modernización y optimización de los procesos constructivos. Su capacidad para reducir los tiempos de producción en casi un 40% lo convierte en una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia y reducir los costos en proyectos de vivienda social, sin comprometer la calidad. Además, la reducción de los tiempos de construcción no solo tiene un impacto económico positivo, sino que también podría ayudar a resolver problemas de vivienda a nivel social, haciendo que más personas accedan a una vivienda digna en un menor plazo. No obstante, para que su impacto sea completamente comprendido y maximizado, es necesario seguir investigando su comportamiento en distintos escenarios constructivos y superar las barreras normativas y formativas que su implementación a gran escala puede enfrentar. El potencial del PMS es indudable.

Avance comparativo de sistemas constructivos en línea recta



Figura 39. Avance comparativo de sistemas constructivos en línea recta
(Elaboración propia, 2024).

En la Figura 39, Es una representación comparativa de los tiempos de ejecución por etapas constructivas entre un sistema constructivo tradicional (SCT) y el sistema alternativo PMS (Panel Modular en Sitio), aplicado a una unidad prototipo de 18 m². Esta línea de tiempo permite observar con precisión las diferencias en duración y secuencia entre ambos métodos, revelando los beneficios operativos del sistema innovador propuesto.

En el caso del SCT, se identifica una ejecución segmentada, lineal y prolongada. Las etapas de preliminares y excavación se realizan en los primeros tres días, seguidas por una cimentación que abarca desde el día 3 al 9. Posteriormente, la etapa de estructura inicia hasta el día 10 y se extiende más allá del día 17, mientras que la albañilería queda rezagada al final del proceso. Este modelo tradicional refleja la lógica secuencial típica de la obra convencional, con transiciones entre

fases que dependen fuertemente de tiempos de fraguado, disponibilidad de cuadrilla y condiciones climáticas.

Por contraste, el sistema PMS reorganiza estas etapas bajo un enfoque integrado y optimizado, permitiendo ejecutar preliminares, excavación y cimentación en los primeros tres días, para luego consolidar en una sola fase combinada de estructura y albañilería (EST-ALB), que abarca del día 4 al 8. Esta fusión refleja la naturaleza modular y continua del sistema, cuya eficiencia se activa mediante una planificación táctica, una curva de aprendizaje favorable y un diseño constructivo con menor dependencia de tiempos de espera.

El resultado es una reducción significativa en el tiempo total de ejecución, pasando de más de 17 días en el sistema tradicional a solo 8 días con el sistema PMS, sin comprometer la calidad estructural o funcional del espacio construido. Esta comparación empírica demuestra que la implementación de un sistema constructivo alternativo bien articulado permite transformar no solo la técnica constructiva, sino la lógica productiva completa del modelo habitacional.

7.1 Una Prospectiva del sistema constructivo alternativo PMS

Con base en los resultados obtenidos, la implementación del sistema constructivo alternativo denominado Panel Modular en Sitio (PMS) evidencia un avance prometedor en la optimización del tiempo de producción de elementos constructivos, proyectando beneficios a largo plazo en los programas de obra. Conforme se avanza en la aplicación del PMS, el tiempo optimizado presenta un incremento gradual, alcanzando un punto en el que, bajo condiciones controladas y procesos continuos de aprendizaje y adaptación, se espera una relación de tiempo optimizado de 2:1 en comparación con el Sistema Constructivo Tradicional (SCT).

Esta proyección sugiere que, por cada etapa completada, el tiempo requerido con el PMS podría llegar a ser la mitad del necesario en el SCT, lo que convierte al PMS en una herramienta clave para programas de construcción de gran escala,

como los de vivienda social, donde los cronogramas ajustados y el control de costos son primordiales. En la medida en que los equipos de trabajo se familiaricen y perfeccionen el uso de este sistema modular, se anticipa una disminución constante en los tiempos de cada fase constructiva, permitiendo no solo optimizar la productividad, sino también liberar recursos de manera más eficiente y adelantar etapas críticas del proyecto.

El potencial de alcanzar una relación de 2:1 implica que la reducción de costos indirectos y la minimización de riesgos asociados a las extensiones de obra, como variaciones en precios de insumos o condiciones climáticas adversas. Este panorama proyecta un nuevo estándar en el sector, destacando al PMS como una solución viable y estratégica que permite abordar las demandas del mercado de vivienda social con rapidez, precisión y reducción de recursos, en contraste con los sistemas constructivos tradicionales.

VIII. Referencias y bibliografía

Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. *Lean Construction Journal*, 2012, 105–121.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/page105www.leanconstructionjournal.orgwww.leanconstructionjournal.org>

Baraya, S. (2020). Máquina Verde: prototipo de vivienda social modular adaptable. *ArchDaily México*. Recuperado de <https://www.archdaily.mx/mx/947234/maquina-verde-prototipo-de-vivienda-social-modular-adaptable>

Barrantes, G. (2007). Implementación en procesos Constructivos de métodos de calidad utilizados a nivel industrial. (Tesis de licenciatura, Escuela Ingeniería en Construcción Instituto Tecnológico de Costa Rica). Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6234/Implementacionenprocesosconstructivosdemetodosdecalidadutilizadosanivelindustrial.pdf?isAllowed=y&sequence=>

Casanueva Gachuz, E. (2020). Procedimientos y Sistemas Constructivos: NATURALEZA EN EL HABITAR, 02 Tradiciones constructivas de barro y piedra. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de UNAM Facultad de Arquitectura website: https://drive.google.com/file/d/1HB8Evq1I2djy90MddltHzB3MwGzCgb_/view

Cervera, A. (2019). La importancia de la Vivienda Social en México. Recuperado de: <https://la.network/la-importancia-de-la-vivienda-social-en-mexico/>

CNDH. (2018). Situación de los DESCAs (Derechos Económicos, Sociales, Culturales y Ambientales) en México. Recuperado de Cndh.org.mx website: <https://desca.cndh.org.mx/Derechos/vivienda>

CNDH. (2018). Derechos - Vivienda - Situación de los DESCAs en México. CNDH. <https://desca.cndh.org.mx/Derechos/vivienda>

CONEVAL. (2020). Carencia por calidad y espacios de la vivienda. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/CPP_2022/Carencia_espacios_vivienda.pdf

CONEVAL. (2020). Principales retos en el ejercicio del derecho a la vivienda digna y decorosa. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Dosieres_Derechos_Sociales/Retos_Derecho_Vivienda.pdf

CONEVAL. (2023). Calidad y espacios en la vivienda. Recuperado de Coneval.org.mx website:

<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Calidad-y-espacios-en-la-vivienda.aspx>

De Lapuerta, J. (2018). LA VIVIENDA SOCIAL: CARACTERÍSTICAS Y CASOS DE ESTUDIO. Recuperado de Mchmaster.com website: <https://www.mchmaster.com/es/noticias/vivienda-social-caracteristicas-casos-deestudio/#:~:text=La%20vivienda%20social%20es%20aquella,como%20por%20el%20propio%20Estado>

Design Council. (2015). The Design Process: What is the Double Diamond? Recuperado de <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond>

Design Council. (2019). A Study of the Value of Design in Business: Executive Summary. Recuperado de <https://www.designcouncil.org.uk/resources/report/study-value-design-business>

Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., Sunkel, O., & Sánchez, J. (2019). Desarrollo Sostenible Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad 70 años de pensamiento de la CEPAL. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>

Forbes, L.H., Ahmed, S.M. (2011) foundations of Lean Construction. En: Modern Construction, United States of America, Taylor & Francis

Forbes. (2022). México requiere construir 800,000 viviendas anuales: estudio. Recuperado de Forbes México website: <https://www.forbes.com.mx/mexico-requiere-construir-800000viviendasanuales-estudio/>

Gobierno de Canarias. (2017). Pensamiento de Diseño Recuperado de Kit de Pedagogía y TIC website: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/pedagogic/pensamiento-disenol/>

Gobierno de México. (2021). Programa Nacional de Vivienda 2021 2024. Recuperado de gob.mx website: [https://www.gob.mx/sedatu/documentos/programa-nacional-de-vivienda20212024#:~:text=El%20Programa%20Nacional%20incorpora%20los,](https://www.gob.mx/sedatu/documentos/programa-nacional-de-vivienda20212024#:~:text=El%20Programa%20Nacional%20incorpora%20los)

accesibilidad%3B%20ubicaci%C3%B3n%20y%20adecuaci%C3%B3n%20cultu
ral.

Gobierno de México. (2023). Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado gob.mx. Recuperado de www.gob.mx website: <https://www.gob.mx/fovissste/que-hacemos>

Gobierno de México. (2023). Programa de Apoyo a la Vivienda. Recuperado de gob.mx website: <https://www.gob.mx/fonhapo/acciones-y-programas/programa-de-apoyo-a-la-vivienda#:~:text=a%20la%20Vivienda,A%20trav%C3%A9s%20del%20Programa%20de%20Apoyo%20a%20la%20Vivienda%20del,ampl%C3%ADen%20o%20mejoren%20sus%20viviendas>

Gobierno de México. (2023). Programa de Vivienda Social, PVS. Recuperado de gob.mx website: <https://www.gob.mx/conavi/acciones-y-programas/s177-programa-de-vivienda-social-pvs#:~:text=Programa%20de%20Vivienda%20Social%20o,acceder%20a%20una%20vivienda%20adecuada>

Gobierno de México. (2023). SHF, Primer trimestre Recuperado de www.gob.mx sitio web: <https://www.gob.mx/shfcostovivienda.html>

Herrera, C. (2010). RUA (Red Universitaria de Urbanismo y Arquitectura). VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL. 3, 9-12. Recuperado de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/37771/RUA3%209-13.pdf>

Hira, A., S.P. Dozzi, & S.M. Abourizk. (1994). Project Management Techniques in Planning and Controlling Construction Projects (Second). John Wiley & Sons, Inc.

INEGI. (2020). ENCUESTA NACIONAL DE VIVIENDA (ENVI), Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/envi/ENVI2020.pdf>

INFONAVIT. (2022). Acerca de nosotros. Recuperado de Infonavit.org.mx website: https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/portal/infonavit.web/el-instituto/el-infonavit/acerca-de-nosotros!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zizdwNDDycTQz9LHy8TQ0CDQK83Q28DAyDQz1C7ldFQE0QU1x/

Martínez Díaz, A., & Vásquez Aguilar, R. (n.d.). Sistemas constructivos innovadores para la construcción de vivienda de interés social.

Ramírez, R., & Ríos, C. (2021, July 2). Vivienda obrera y espacio social en México del siglo XX. REGISTROS, 7–12.

Salas, J. (2016). PROPUESTA DE UN SISTEM CONSSTRUCTIVO [Tesis]. Universidad Politecnica de Cataluya.

Stickdorn, M., & Schneider, J. (2011). This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases. BIS Publishers.

INEGI. (2020) Encuesta Nacional de Vivienda. Presentación de resultados. Recuperado de

https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/envi/2020/doc/envi_2020_presentacion.pdf

INEGI. (2020). Población. Viviendas. Recuperado Inegi.org.mx website: <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/vivienda.aspx?tema=P#:~:text=Una%20vivienda%20es%20un%20espacio,hay%2035%2C219%2C141%20viviendas%20particulares%20habitadas>

Kerzner, H. (2013). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons.

Lean Construction Institute. What is Lean Construction: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>

Martínez Díaz, A., & Vásquez Aguilar, R. (s.f.). Revista Universidad Autónoma de Coahuila. Sistemas constructivos innovadores para la construcción de vivienda de interés social. 1-5 Recuperado de: https://riiit.com.mx/apps/site/files/sistemas_constructivos_innovadores_para_la_constructin_de_vivienda_de_inters_social_v1.pdf

MUSSIO, G. (2019). Industrialización y diseño. La evaluación de sistemas constructivos no tradicionales en programas habitacionales. 00, 117-127. Recuperado de:

<https://revistas.udelar.edu.uy/OJS/index.php/RTdT/article/view/94/80>

Muzzio, S. (2020). ¿Cómo optimizar el proceso constructivo? (Investigación, Universidad Nacional de Cuyo). Recuperado de: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15655/como-optimizar-el-proceso-constructivo.pdf

ONU-Habitat. (2019) a. Contribución de la vivienda al cumplimiento de la Agenda 2030. Recuperado de Onuhabitat.org.mx website:

<https://onuhabitat.org.mx/index.php/contribucion-de-la-vivienda-alcumplimiento-de-la-agenda-2030>

ONU-Habitat. (2019) b. Elementos de una vivienda adecuada

Recuperado de Onuhabitat.org.mx website:
<https://onuhabitat.org.mx/index.php/elementos-de-una-vivienda-adecuada>

Pons Achell, J. F., & Rubio Pérez, I. (2019). Lean Construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner® System. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE).

Ramos, P. (2019). ESTUDIO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA VIVIENDA EN PUEBLA, MÉXICO (Trabajo de investigación). Universidad Politécnica de Madrid, España Recuperado de https://oa.upm.es/55883/1/TFG_Ramos_Diaz_Paula.pdf

Salas, J. (2016). PROPUESTA DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA SOCIAL PARA LAS ZONAS ANDINAS DE COLOMBIA (Tesis de maestría). UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA, Barcelona.

Sandoval C. (2014). Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/57abb215-d6ad-48ab-bea8-f1411f0909a7/content>

Sánchez, G. (2010). Viviendas sociales. Recuperado de Urbanismo.COM website: <https://www.urbanismo.com/viviendas-sociales/>

Sereno, E. (2017). Llegan las viviendas construidas con estructuras de acero. Recuperado de elEconomista.es website: <https://www.eleconomista.es/aragon/noticias/8605813/09/17/Llegan-las-viviendas-construidas-con-estructuras-de-acero.html>

Souza, E. (2020). Entonces, ¿es sostenible el uso de la madera? Recuperado de ArchDaily México website: <https://www.archdaily.mx/mx/952203/entonces-es-sostenible-el-uso-de-la-madera>

Souza, E. (2023). Modular 5.5, un proyecto flexible y sostenible de construcción modular en madera. Recuperado de ArchDaily México website: <https://www.archdaily.mx/mx/998555/un-proyecto-flexible-y-sostenible-de-construccion-modular-en-madera>

Souza, E. (2023). Cómo las nuevas tecnologías han evolucionado para adoptar la sostenibilidad en la arquitectura. Recuperado de ArchDaily México

website: <https://www.archdaily.mx/mx/1008661/como-las-nuevas-tecnologias-han-evolucionado-para-adoptar-la-sostenibilidad-en-la-arquitectura>

Villavicencio, J. & Durán, A. (2023). REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES. 7(146), 1. Treinta años de vivienda social en la Ciudad de México: nuevas necesidades y demandas. Recuperado de: Ub.edu website: [https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146\(028\).html](https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146(028).html)

IX. Anexos

9.1 Carta de consentimiento informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO



Santiago de Querétaro, Querétaro., a _____ de _____ del _____

Por medio de la presente, el (la) que suscribe, _____,

he leído y comprendido los lineamientos del proyecto denominado **“Diseño de estrategia**

para optimizar el recurso del tiempo en la producción de vivienda social, sin

comprometer su calidad” y de manera libre, voluntaria y sin coerción alguna, bajo protesta

de decir la verdad autorizo a los investigadores responsables a que la información y datos

generados en dicho estudio sean utilizados únicamente con fines de investigación y que estos

datos no se proporcionen a otras personas o instituciones. Así mismo, queda estipulado que

mi participación será de manera anónima, por lo que la información y datos proporcionados

por mí no serán relacionados con mi persona.

Eximo, deslindo de toda responsabilidad y estoy de acuerdo en no levantar ninguna demanda

civil, penal, y reparadora del daño en contra de la Universidad Autónoma de Querétaro, de

los investigadores responsables del estudio, ni de ningún empleado, profesores, estudiantes

y/o voluntarios de la Institución; esto incluye a mi persona y mi familia, en caso de tener

algún incidente mientras se desarrolla el estudio, dado que las variables y condiciones del

mismo son adecuadas y no representan riesgo alguno.

Participante

Investigador responsable del proyecto

Nombre y firma del investigador

9.2 Carta de confidencialidad del proceso



Por medio de la presente, yo, _____,
en calidad de participante/involucrado en el proceso de prototipado bajo el
nombre de "Uso de un sistema constructivo alternativo como estrategia para
optimizar el tiempo de construcción de VIS, sin comprometer su calidad", me
comprometo a mantener la más estricta confidencialidad respecto a toda la
información, actividades, procedimientos y resultados relacionados con dicho
proceso.

En particular, me obligo a:

1. No tomar fotografías ni grabar videos en ninguna etapa del proceso de prototipado.
2. No divulgar, comentar o compartir, ya sea de forma oral, escrita o por cualquier medio, información alguna relativa a las actividades, técnicas, materiales, avances o cualquier otro aspecto vinculado al proceso.
3. Respetar las medidas de seguridad y confidencialidad establecidas para proteger la propiedad intelectual de la empresa financiera del proyecto.

Este compromiso de confidencialidad se mantendrá vigente durante el desarrollo del proyecto y continuará después de su finalización, sin límite de tiempo, salvo autorización expresa y por escrito de la parte del propietario de la información.

El incumplimiento de este acuerdo podrá derivar en sanciones legales y administrativas conforme a la legislación aplicable y a las políticas internas de PAC Arquitectura y Construcción.

En señal de conformidad, firmo la presente carta en San Juan del Río, a
_____ del _____.

Nombre y firma

9.3 Constancias de participación y logros académicos