



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Área académica de Ingeniería y arquitectura
Lic. en Ingeniería Civil

Tesis

“Optimización de la holgura de actividades por medio de la ruta crítica en la construcción de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo”

Para obtener el grado de **Ingeniero Civil**

Autor:

- Osorio Rodríguez Alan Eduardo

Integrantes del Jurado

Presidente: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Secretario: Dr. Cutberto Rodríguez Álvarez

Vocal: Dr. Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Suplente: Dr. Omar Caballero Garatachea

Lugar: Mineral de la Reforma, Hidalgo.

Fecha de entrega: octubre de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 26 de septiembre de 2025

Número de control: ICBI-D/1709/2025
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Ingeniería Civil **Alan Eduardo Osorio Rodríguez**, quien presenta el trabajo de titulación "**Optimización de la hoigura de actividades por medio de la ruta crítica en la construcción de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas

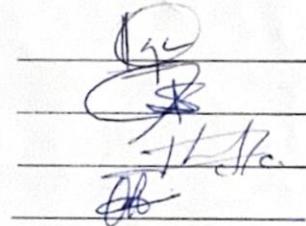
A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado

Presidente: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Secretario: Dr. Cutberto Rodríguez Álvarez

Vocal: Dr. Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Supiente: Dr. Omar Caballero Garatachea



Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo

Atentamente,
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento: Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

Índice

Lista de Figuras	3
Lista de Tablas	4
Agradecimientos	5
Glosario de términos	6
Resumen	8
Palabras Clave	9
Abstract	9
Keywords	9
Capítulo 1. Planteamiento del problema	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Problemática	15
1.3 Justificación.....	17
1.4 Pregunta de investigación	18
1.5 Hipótesis	18
1.6 Objetivo general	18
1.7 Objetivos específicos.....	18
1.8 Alcances y limitaciones	19
1.8.1 Alcances	19
1.8.2 Limitaciones	19
1.9 Descripción del área de estudio	20
1.10 Marco Referencial	24
Capítulo 2: Marco teórico	26
2.1. Gestión de proyectos.....	26
2.2. Ruta crítica	31
2.3. Holgura.....	33
2.4. Optimización de la Holgura	34
2.5. Factores que afectan la holgura y la ruta crítica en la construcción	35
2.6. Normativa aplicable.....	39
Capítulo 3: Metodología	41
3.1 Método Estadístico	41

3.2 Holgura.....	51
Capítulo 4: Resultados.....	54
4.1. Presentación de datos.....	54
4.2. Análisis de resultados.....	59
4.2.1 Holgura	59
4.2.2 Costo-Construcción	62
4.2.3 Superficie-Duración	63
4.2.4 Costo-Beneficio	64
4.2.5 Costo-Beneficio Porcentaje.....	66
4.3. Discusión de resultados	67
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.....	71
5.1 Conclusiones.....	71
5.2 Recomendaciones.....	75
Referencias bibliográficas	77

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama CPM.	11
Figura 2. Ejemplo de casa realizada con el método tradicional de autoconstrucción.	12
Figura 3. Daños estructurales ocasionados por la estabilidad del terreno.	16
Figura 4. Municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	20
Figura 5. Pirámide poblacional total de Tula de Allende.....	21
Figura 6. Distribución de viviendas particulares habitadas en 2010 y 2020.....	23
Figura 7. Fases de la gestión de proyectos.	27
Figura 8. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 49 m ²	45
Figura 9. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 56 M2.....	46
Figura 10. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 63 M2.....	46
Figura 11. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 70 M2.....	47
Figura 12. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 77 M2.....	47
Figura 13. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 84 M2.....	48
Figura 14. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 49 M2.....	51
Figura 15. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 56 M2.....	51
Figura 16. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 63 M2.....	52
Figura 17. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 70 M2.....	52
Figura 18. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 77 M2.....	53
Figura 19. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 84 M2.....	53
Figura 20. Matriz de periodo.....	55
Figura 21. Matriz de costo paramétrico	56
Figura 22. Valor de unidad de inversión.	57
Figura 23. Matriz de costo paramétrico en unidades de inversión.....	58
Figura 24. Holgura.....	61
Figura 25. Relación costo-construcción.....	62
Figura 26. Relación superficie-duración	64
Figura 27. Relación costo-beneficio.....	65
Figura 28. Porcentaje del costo-beneficio.....	66

Lista de Tablas

Tabla 1. Duración de cada actividad dentro del proyecto.	55
Tabla 2. Costo paramétrico	56
Tabla 3. Matriz de costo paramétrico en Unidades de Inversión	58
Tabla 4. Actividades involucradas en cada proyecto.	60
Tabla 4. Actividades involucradas en cada proyecto.	60
Tabla 5. Holgura.	61

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante, quien me ha dado las herramientas y la sabiduría para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre, Claudia y a mi abuela Celestina, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo.

A mis hermanos y tíos, por estar siempre presentes, acompañándome y brindándome su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis amigos, que nunca me dejaron solo y estuvieron ahí dándome ánimos cuando más lo necesitaba.

A mi compañera de licenciatura Geraldine, le agradezco su invaluable apoyo, por compartir su tiempo y reflexiones en esta etapa de mi vida.

Finalmente, con profunda estima y reconocimiento, extendiendo mi más sincera gratitud a mis directores de tesis, su dedicación docente y su inestimable guía han sido pilares fundamentales en la dirección de esta investigación.

Glosario de términos

1. *Actividad*: Unidad básica de trabajo dentro de un proyecto, con duración y recursos definidos.
2. *Actividad crítica*: Actividad que, por su complejidad, dependencia de terceros o incertidumbre pueden suponer una dificultad para su consecución o constituir un riesgo real de desviación.
3. *Autoconstrucción*: Proceso en el que los propietarios participan directamente en la construcción de sus viviendas, sin la intervención completa de empresas constructoras.
4. *Cadena crítica*: Metodología de gestión de proyectos que se enfoca en las actividades que están limitadas por la disponibilidad de recursos
5. *Camino crítico*: Secuencia de actividades que determina la duración total de un proyecto; si una de ellas se retrasa, todo el proyecto se retrasa.
6. *Casa habitación*: Vivienda destinada al uso familiar, generalmente de una o dos plantas, que incluye áreas básicas como sala, cocina, baños y recámaras.
7. *Costo paramétrico*: Estimación de costos basada en parámetros como superficie, tipo de materiales o número de niveles de la vivienda.
8. *Cronograma*: Representación gráfica del plan de actividades de un proyecto, con su duración, secuencia y fechas de inicio y término.
9. *Diagrama*: Representación gráfica que se utiliza para ilustrar de manera visual información, conceptos, procesos o relaciones entre elementos.
10. *Duración*: Tiempo necesario para completar una actividad de obra.
11. *Gestión de proyecto*: Disciplina que aplica procesos, métodos, conocimientos y recursos para planificar, ejecutar, controlar y cerrar un proyecto, logrando sus objetivos específicos dentro de un plazo, presupuesto y alcance definidos.
12. *Holgura*: Tiempo que puede retrasarse una actividad sin afectar la fecha final del proyecto.
13. *Holgura libre*: Cantidad máxima de tiempo que una tarea puede retrasarse sin afectar el inicio temprano de la tarea sucesora inmediata.

14. *Holgura total*: Cantidad máxima de tiempo que una actividad de un proyecto puede retrasarse sin afectar la fecha de finalización del proyecto.
15. *Método de la Ruta Crítica (CPM)*: Técnica de planificación que permite identificar actividades críticas y optimizar tiempos en proyectos de construcción.
16. *Microsoft Project*: Software especializado en la programación y control de proyectos, utilizado en esta investigación para calcular la ruta crítica.
17. *Optimización del tiempo*: Proceso de mejorar la eficiencia de un proyecto reduciendo retrasos y aprovechando al máximo los recursos disponibles.
18. *Partidas*: Agrupaciones de trabajos y tareas dentro de un proyecto, organizadas por criterios como similitud de procesos o tipo de material, para facilitar la medición (metrados), la programación de tiempos y la evaluación de costos.
19. *Planeación de obra*: Proceso de organizar anticipadamente los recursos, tiempos y actividades necesarios para ejecutar una construcción.
20. *Procesos constructivos*: Fases y pasos necesarios para crear una edificación o infraestructura, abarcando desde la conceptualización del proyecto hasta su finalización.
21. *Programa de obra*: Documento que establece la secuencia de actividades y los tiempos estimados de ejecución del proyecto.
22. *Recursos*: Medio de cualquier clase que, en caso de necesidad, sirve para conseguir lo que se pretende.
23. *Red de actividades*: Diagrama que muestra las relaciones de dependencia entre las actividades de un proyecto.

Resumen

Esta investigación se centra en la aplicación de la metodología de la ruta crítica (CPM) como herramienta para optimizar la planeación y reducir holguras en la construcción de casas habitación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo. La zona presenta una alta incidencia de autoconstrucción, modalidad en la que los propios propietarios dirigen o ejecutan la obra sin un plan técnico detallado, lo que provoca retrasos, sobrecostos y deficiencias en la calidad de las construcciones. Ante esta problemática, se planteó evaluar el impacto de CPM en la gestión de proyectos de vivienda de interés social.

Para el análisis, se utilizó el software Microsoft Project, identificando las actividades críticas de un proyecto tipo y calculando su ruta crítica. Esto permitió determinar las holguras disponibles y aplicar ajustes para optimizar la secuencia y duración de tareas. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de CPM puede reducir el tiempo total de ejecución en un 20% respecto al método tradicional de autoconstrucción. Además, se registró una mejora notable en la asignación y uso de recursos como mano de obra, materiales y equipo, lo que contribuyó a un control más eficiente de los costos.

Estos hallazgos muestran que la metodología CPM no solo es aplicable en proyectos de gran escala, sino que puede adaptarse eficazmente a construcciones de vivienda unifamiliar. Su implementación fomenta una planeación ordenada, reduce riesgos asociados a improvisaciones y permite cumplir plazos con mayor precisión. El estudio concluye que la adopción de prácticas de gestión técnica, como la ruta crítica, representa una oportunidad para elevar los estándares constructivos en contextos donde prevalece la autoconstrucción, mejorando la calidad final de la obra y garantizando un uso más racional de los recursos disponibles.

Palabras Clave

Programa de obra, construcción, metodología, planeación, optimización, camino crítico, ruta crítica, holgura total, holgura libre, actividades críticas.

Abstract

This research analyzes the application of the critical path methodology (CPM) to significantly optimize planning, reducing slack and improving efficiency in the construction of residential homes in Tula de Allende, Hidalgo. The construction of projects of this nature in the area is mostly governed by self-construction, creating challenges for the execution of these projects, such as time management and the management of both human and financial resources, causing delays in established deadlines and cost overruns.

For this research, Microsoft Project software was used to calculate the critical path of the activities of each residential project. The results obtained show that implementing the critical path methodology reduces execution time by 20% compared to the traditional method (self-construction). By optimizing the slack present in each activity, efficient planning and optimized resource use were achieved at each stage of construction. Concluding, the application of the critical path methodology and the optimization of existing slack in housing project activities is of utmost importance for self-construction in the area, as it allows for efficient project management, reducing cost overruns at each stage of the project, and achieving a timely and accurate completion of each project.

Keywords

Construction program, construction, methodology, planning, optimization, critical path, critical route, total slack, free slack, critical activities.

Capítulo 1. Planteamiento del problema

1.1 Introducción

La ejecución de proyectos sin una planificación estructurada ni el uso de metodologías adecuadas representa un desafío significativo, ya que una gestión deficiente del tiempo suele derivar en retrasos y en resultados de baja calidad. Para abordar estos problemas, se han desarrollado diversas metodologías de planeación y gestión, entre las que destacan Lean Construction, Building Information Modeling (BIM) y la metodología de la ruta crítica (CPM).

La ruta crítica es una técnica de gestión que permite planificar de manera detallada cada uno de los componentes de un proyecto, con el objetivo de optimizar tanto el costo como el tiempo de ejecución. Esta herramienta se basa en la programación precisa de las actividades, estableciendo la duración requerida para cada una y determinando aquellas que resultan críticas para el cumplimiento del plazo total.

En este contexto, la presente investigación se enfoca en el análisis de la aplicación de la metodología de la ruta crítica en proyectos de construcción de casas habitación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo. Particularmente, se estudia la identificación de la ruta crítica y la determinación de las holguras presentes en las actividades que integran el proceso constructivo, con especial atención a las partidas específicas de obra. Este análisis busca proporcionar información técnica que contribuya a mejorar la eficiencia en la programación y ejecución de este tipo de proyectos.

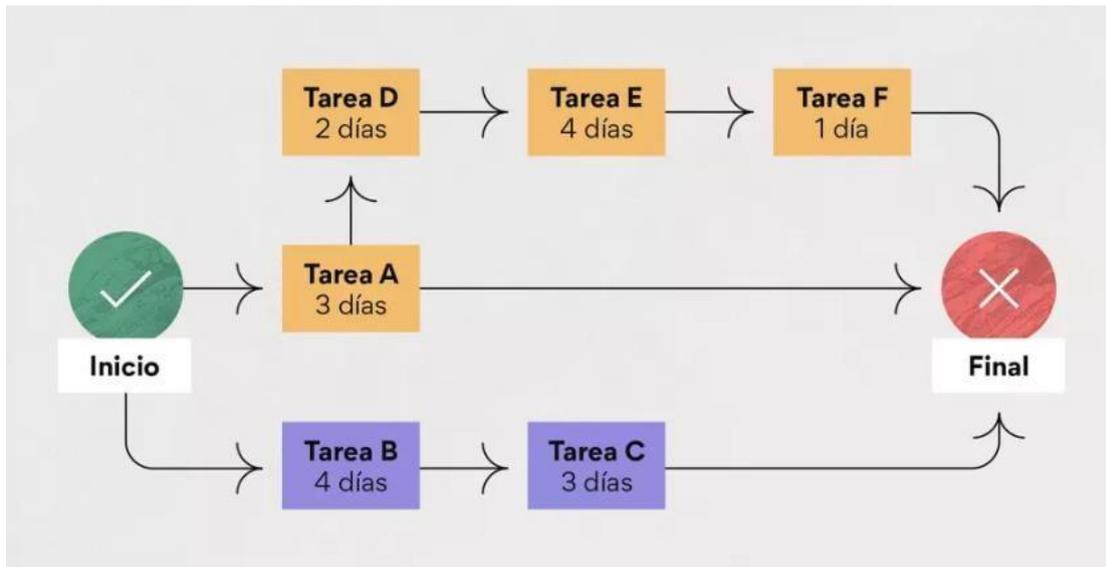


Figura 1. Diagrama CPM.

Tomada de: <https://asana.com/es/resources/critical-path-method>

Se estima que el 55 % de la población mundial reside en países en vías de desarrollo, donde gran parte de las viviendas se han construido sin planificación formal ni asistencia técnica. Esta situación ha dado lugar a extensos asentamientos informales que generan múltiples problemáticas sociales y sanitarias. La carencia de infraestructura básica, como sistemas de saneamiento y suministro de agua potable, constituye uno de los principales factores de riesgo, ya que aproximadamente el 80 % de las enfermedades mortales en estos países están vinculadas a la calidad y disponibilidad del agua. A ello se suma la vulnerabilidad estructural derivada de la inestabilidad de las edificaciones y de los terrenos donde se asientan, así como las condiciones de insalubridad que caracterizan a estos entornos.



Figura 2. Ejemplo de casa realizada con el método tradicional de autoconstrucción.

Tomada de: <https://www.milenio.com/estados/anos-inundacion-rio-tula-aumenta-margenes-riesgo>

La industria de la construcción en México constituye uno de los sectores estratégicos para el desarrollo económico y social del país, dado su papel como generador de empleo, dinamizador de la economía y proveedor de infraestructura esencial. En particular, la construcción de viviendas representa una de las áreas de mayor impacto, no solo por su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), sino también por su capacidad para atender una necesidad básica de la población: el acceso a un hogar digno. (Statista, 2024), el sector de la construcción aportó en 2021 aproximadamente el 6.8% del PIB nacional, reflejando su relevancia dentro de la economía mexicana. Esta actividad, al requerir una amplia variedad de insumos y mano de obra, impulsa a su vez otros sectores productivos, generando un efecto multiplicador significativo.

En el ámbito habitacional, la construcción de casas habitación se posiciona como un motor de crecimiento económico y como un elemento esencial para el desarrollo urbano. El aumento constante de la población, especialmente en las zonas urbanas, ha impulsado la demanda de viviendas, promoviendo tendencias como la construcción vertical mediante departamentos y condominios, estrategia que optimiza el uso del espacio ante la escasez de

terrenos. Sin embargo, uno de los principales retos que enfrenta este sector es garantizar la disponibilidad de viviendas accesibles para los sectores de bajos y medianos ingresos, considerando que la demanda en este segmento supera ampliamente la oferta existente.

En México, gran parte de la construcción de casas habitación se ha realizado mediante métodos tradicionales, como la autoconstrucción o la elaboración de programas de obra convencionales. La autoconstrucción, implica que los propietarios, muchas veces sin experiencia técnica, se encarguen directamente de edificar sus viviendas. Aunque esta modalidad puede representar una alternativa económica, suele derivar en problemas de calidad estructural, sobrecostos y retrasos debido a la falta de conocimientos especializados (Wiesenfeld, 2001). Por otro lado, los programas de obra convencionales, definidos como herramientas que muestran las operaciones necesarias, su duración y fechas estimadas de inicio y finalización, son gestionados principalmente por constructores locales. A pesar de ofrecer un mayor grado de organización que la autoconstrucción, este enfoque sigue enfrentando limitaciones en la optimización del tiempo y la asignación de recursos (Torres Jasso, Carlos Gerardo., 2008).

La falta de planificación detallada y el control deficiente en los métodos mencionados se traducen en demoras, desperdicio de materiales y aumento de costos, afectando la eficiencia global de los proyectos. En este contexto, resulta imprescindible la adopción de metodologías de gestión de proyectos que permitan una planificación más precisa y un control riguroso de las actividades. Entre estas metodologías, el Método de la Ruta Crítica o Critical Path Method (CPM, por sus siglas en inglés) se presenta como una herramienta eficaz para mejorar la gestión del tiempo y los recursos en proyectos de construcción.

La metodología CPM se basa en la identificación y gestión de las actividades críticas de un proyecto, entendidas como aquellas que determinan la duración total del mismo y que, por tanto, no admiten retrasos sin afectar la fecha final de entrega. Un concepto central dentro de esta metodología es el de *holgura*, que se refiere al tiempo adicional disponible para completar una

actividad sin repercutir en la fecha de finalización del proyecto. Calcular la holgura de forma precisa y realista es fundamental para evitar problemas como retrasos acumulados o desajustes financieros. La gestión adecuada de la holgura permite priorizar tareas, optimizar la asignación de recursos y establecer planes de contingencia ante eventualidades (EAE Business School, 2023).

En el municipio de Tula de Allende, Hidalgo, la implementación de metodologías de gestión como CPM adquiere especial relevancia debido al contexto económico y demográfico de la región. Según datos oficiales, en 2020 la población de Tula de Allende ascendía a 115,107 habitantes, lo que representa un crecimiento del 10.8% respecto a 2010. Este incremento se ha visto impulsado por la presencia de la Refinería Miguel Hidalgo y la instalación de empresas que brindan servicios y mantenimiento a la misma. La llegada de estas industrias ha generado una importante demanda de mano de obra y, en consecuencia, un aumento significativo en la demanda de viviendas. Ante este escenario, garantizar la eficiencia en la ejecución de los proyectos de casa habitación resulta indispensable para atender la creciente necesidad habitacional y asegurar un desarrollo urbano ordenado.

La optimización de la ruta crítica constituye un área de estudio ampliamente desarrollada dentro de la gestión de proyectos, en particular en el sector de la construcción, donde los márgenes de tiempo y presupuesto suelen ser limitados. Entre las principales metodologías empleadas para la planificación y control de proyectos se encuentra además de CPM, la técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique), que se centra en estimar la duración de las actividades y la secuencia óptima de ejecución, considerando la incertidumbre y variabilidad en los tiempos (Jiménez, J., 2014). Asimismo, el análisis de programación lineal, utilizado frecuentemente en proyectos de construcción lineales, facilita la visualización de la secuencia de actividades, la detección de excesos y la maximización de recursos disponibles, teniendo en cuenta las restricciones del proyecto. Otra metodología empleada es el sistema porcentual, que convierte las actividades y plazos en porcentajes de avance representados

gráficamente, permitiendo identificar desviaciones y aplicar medidas correctivas para recuperar el tiempo perdido (Harnisch, C., 2024).

Cada una de estas metodologías presenta ventajas y limitaciones, pero en el caso específico de proyectos de casa habitación en contextos como el de Tula de Allende, la aplicación del CPM ofrece beneficios particulares. Al identificar con claridad las actividades críticas y calcular de forma precisa las holguras disponibles, se facilita la toma de decisiones estratégicas y la optimización del uso de recursos. Además, su carácter visual y sistemático permite comunicar de forma efectiva el estado del proyecto a todos los actores involucrados, desde ingenieros y arquitectos hasta contratistas y clientes.

En síntesis, la incorporación de la metodología CPM en la planificación y ejecución de proyectos de construcción de viviendas en Tula de Allende puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia y reducir los riesgos asociados a la falta de organización. En un entorno donde la demanda habitacional crece de forma constante y donde los recursos, tanto materiales como financieros, son limitados, disponer de herramientas de gestión robustas y probadas se convierte en un requisito indispensable para alcanzar los objetivos planteados en tiempo y forma.

1.2 Problemática

Actualmente alrededor del setenta por ciento de la población mexicana recurre a este método constructivo puesto que no cuentan con acceso a algún crédito de vivienda como Infonavit o Fovissste (Bran, 2019). En Hidalgo de cada diez casas que se han construido, seis no cumplen con normas técnicas de seguridad, construidas empíricamente (Hernández, F., 2018). Más del 40 por ciento de las viviendas tienen problemas estructurales, reveló el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en la entidad 45.6 por ciento de las viviendas particulares habitadas tienen problemas estructurales de humedad o filtraciones de agua en cimientos, muros o techos. En tanto, 43.4 por ciento reportan grietas o cuarteaduras, estos problemas derivan de este método de construcción (Trejo, L. E., 2021).



Figura 3. Daños estructurales ocasionados por la estabilidad del terreno.

Tomada de: <https://hidalgo.periodicocentral.mx/municipios/evacuan-casas-ante-riesgo-de-colapso-por-aumento-del-rio-tula/37688/>

Una parte considerable de los proyectos ejecutados de forma empírica mediante la autoconstrucción presenta retrasos y sobrecostos ocasionados por la ausencia de una adecuada planeación y gestión del tiempo. Estas dificultades se manifiestan en distintas etapas del proceso constructivo, especialmente en aquellas partidas con mayor demanda de recursos, como cimentación, estructuras, fachadas y cubiertas. La mayoría de las personas que emprenden este tipo de obras carece de conocimientos sobre metodologías de planificación, como el método de la ruta crítica (CPM), el cual constituye una herramienta eficaz para mitigar los problemas asociados a la autoconstrucción. Esta metodología permite identificar las actividades críticas que deben ejecutarse en los plazos previstos para garantizar la finalización del proyecto en el tiempo estipulado, lo que contribuye a reducir de manera significativa la duración total de la obra. La experiencia internacional y nacional demuestra que la profesionalización de la gestión de proyectos, mediante el uso de metodologías como CPM, no solo mejora los indicadores de tiempo y costo, sino que también

eleva la calidad final de las construcciones. En consecuencia, su implementación en el contexto local de Tula de Allende no solo responde a una necesidad técnica, sino que se alinea con un objetivo más amplio: garantizar el derecho a una vivienda segura, digna y adaptada a las necesidades de la población.

1.3 Justificación

La demanda de vivienda en México, y específicamente en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo, ha aumentado de forma considerable debido a factores como el crecimiento poblacional y el establecimiento de nuevos complejos industriales, entre ellos el parque industrial de Atitalaquia. Este incremento ha generado la necesidad urgente de construir viviendas de calidad en plazos cada vez más reducidos y con presupuestos ajustados. Sin embargo, gran parte de las construcciones en la región se realizan mediante autoconstrucción, un proceso que, aunque más accesible económicamente para muchos habitantes, carece de una planeación técnica sólida. Esto se traduce en retrasos, sobrecostos y deficiencias estructurales que afectan la durabilidad y funcionalidad de las viviendas.

La metodología de la ruta crítica (CPM) ofrece una solución viable para mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos de vivienda. Al identificar las actividades críticas y gestionar las holguras de manera estratégica, es posible optimizar tiempos, controlar costos y asegurar la calidad de la obra. Este tipo de gestión profesional permite anticipar problemas y aplicar soluciones antes de que impacten negativamente el desarrollo del proyecto.

El presente estudio se justifica en la necesidad de adaptar herramientas de gestión de proyectos comúnmente empleadas en obras de gran escala al ámbito de la vivienda unifamiliar de interés social. Implementar CPM en este contexto no solo beneficiará a los propietarios, quienes recibirán su vivienda en menor tiempo y con mejor calidad, sino también a constructores y autoridades locales, al fomentar prácticas constructivas más eficientes.

Demostrar la aplicabilidad y los beneficios concretos de CPM en un entorno donde la autoconstrucción predomina es un paso esencial para promover su adopción y profesionalizar el sector. En consecuencia, esta investigación busca ser un referente que motive la implementación de metodologías de planeación avanzada en la construcción de vivienda en Tula de Allende y en otras regiones con características similares.

1.4 Pregunta de investigación

¿Qué impacto tiene la optimización de la holgura de actividades en la eficiencia de los recursos (materiales y mano de obra) durante la construcción de una casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo?

1.5 Hipótesis

La implementación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM) en proyectos de construcción de casas habitación en Tula de Allende, Hidalgo optimiza significativamente la planeación, reduciendo las holguras y mejorando la eficiencia del proyecto en comparación con los métodos tradicionales.

1.6 Objetivo general

Optimizar la holgura de las actividades en la programación de proyectos de construcción de casas habitación en Tula de Allende, Hidalgo, utilizando la metodología de la ruta crítica para mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir el tiempo total de construcción y minimizar los costos asociados.

1.7 Objetivos específicos

- Identificar las actividades críticas de un proyecto de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo, mediante la aplicación de la metodología de la ruta crítica (CPM), y analizar su incidencia en la duración total del proyecto, estableciendo un listado priorizado que permita optimizar la asignación de recursos y reducir tiempos improductivos.

- Medir el impacto de la optimización de la holgura en la ruta crítica, comparando la duración estimada del proyecto antes y después de aplicar mejoras, para cuantificar la reducción en el tiempo total de ejecución de proyectos de construcción en la región.
- Implementar la metodología CPM en un proyecto de casa habitación y evaluar el efecto de la mejora en la programación y gestión de la holgura sobre el cumplimiento de las tareas planificadas, verificando el porcentaje de avance y la reducción de desviaciones respecto al cronograma inicial

1.8 Alcances y limitaciones

1.8.1 Alcances

Se desarrollará un enfoque detallado para aplicar la metodología de la ruta crítica en la planificación y optimización de la holgura de actividades en proyectos de construcción de casas habitación en Tula de Allende, Hidalgo. Esto incluirá la identificación de actividades críticas, la determinación de holguras y la propuesta de ajustes para mejorar la eficiencia del proyecto.

La tesis se centrará en un proyecto real de construcción de una casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo. Se recogerán datos específicos del proyecto para aplicar la metodología y evaluar los resultados obtenidos en términos de tiempo de ejecución, costos y uso de recursos.

Se analizará cómo la optimización de la holgura mediante la ruta crítica afecta el tiempo total de construcción y la eficiencia en el uso de recursos, tales como materiales y mano de obra. Se presentarán estimaciones y comparaciones antes y después de la optimización.

1.8.2 Limitaciones

Aunque la metodología de la ruta crítica (CPM) es ampliamente utilizada, este trabajo no abordará otras metodologías o herramientas de gestión de proyectos que podrían ofrecer diferentes perspectivas o soluciones.

1.9 Descripción del área de estudio

Tula de Allende se localiza entre los paralelos 20° 03'09" latitud norte y 99° 20'48" longitud oeste del meridiano de Greenwich, tomando como base la Catedral centro de Tula a una altitud de 2,020 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con Chapantongo, Tepetitlán y Tezontepec de Aldama, al sur con Tepeji de Ocampo, al este con Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Tlaxcoapan, y al oeste con el Estado de México.



Figura 4. Municipio de Tula de Allende, Hidalgo.

Tomada de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tula-De-Allende-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>

El municipio en su mayor parte es semiplano, ya que sólo cuenta con el cerro grande (Magoni). La parte llana del Municipio se encuentra entre Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Atitalaquia, también en las partes altas de Tula al

lindero con el Estado de México. Las barrancas se localizan en la cuenca del Río Rosas de aguas limpias que nace en los manantiales de San Francisco del Estado de México. Las montañas se ubican al occidente de la ciudad. En el área cerrada se encuentran las comunidades de San Miguel de las Piedras y Xindejé de Cuauhtémoc. Los cerros están localizados al este y al oeste de Tula, al este el cerro del cielito, que termina con una barranca tras los campos deportivos del centro "7 de agosto". Al oeste los cerros "Maguení" (el origen de este nombre se desconoce) y la malinche, del que toma el nombre una colonia. Al norte se localiza el cerro del "Xicuco" de origen volcánico. El cerro solitario cuenta con la leyenda de oración del Rey Ce-Acatl Topiltzin Quetzalcoátl. Está compuesto por un suelo terciario, cuaternario y mesozoico, de tipo semidesértico, rico en materia orgánica y nutrientes. En el uso del suelo, ocupa el primer lugar los agostaderos; el segundo lugar el agrícola; y por último a otros usos. (Gobierno del Estado de Hidalgo Secretaría de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano, 2016).

En 2020, la población en Tula de Allende fue de 115,107 habitantes. En comparación a 2010, la población en Tula de Allende creció un 10.8%.

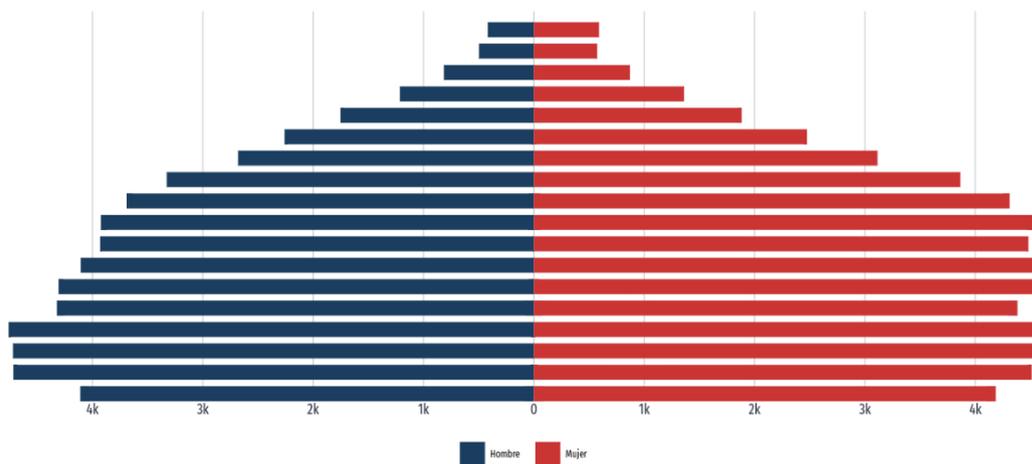


Figura 5. Pirámide poblacional total de Tula de Allende.

Tomada de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tula-de-allende#population-and-housing>

En 2015 el municipio presenta un IDH de 0.798 alto, por lo que ocupa el lugar 3.º a nivel estatal; y en 2005 presentó un PIB de \$7,025,228,665.00 pesos mexicanos, y un PIB per cápita de \$75,300.00 (precios corrientes de 2005).

Se estima que Tula aporta el 47.6 por ciento del producto interno bruto Estatal.

En el municipio existen industrias de la transformación, extractivas, construcción, y maquiladoras. Las industrias más importantes son: la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y la refinería de Petróleos Mexicanos Miguel Hidalgo, la Fábrica Cementera Cruz Azul y Tolteca. En cuanto a industria petrolera, se cuenta con la refinería "Miguel Hidalgo" en Tula de Allende. (Data México., 2024).

Tula de Allende, Hidalgo cuenta con una población total de 115,107 habitantes y un total de 33,000 viviendas las cuales cuentan con 4 cuartos el 26.5% y con tres cuartos el 21.4%, sin embargo la mayoría de viviendas cuentan con solo 2 cuartos siendo el 40.2% con estas características (Gobierno de México, 2024), en este caso se implementará la metodología CPM analizando las holguras que se encuentren dentro de las partidas que se ejecutan dentro de proyectos de casa habitación con las características que en su mayoría son las que se encuentra en el municipio de Tula de Allende, específicamente en la localidad de el Carmen, colonia las violetas, con un predio de 110 metros cuadrados y 70 metros cuadrados de construcción, una planta, dos cuartos, cocina, sala, comedor y un baño completo.

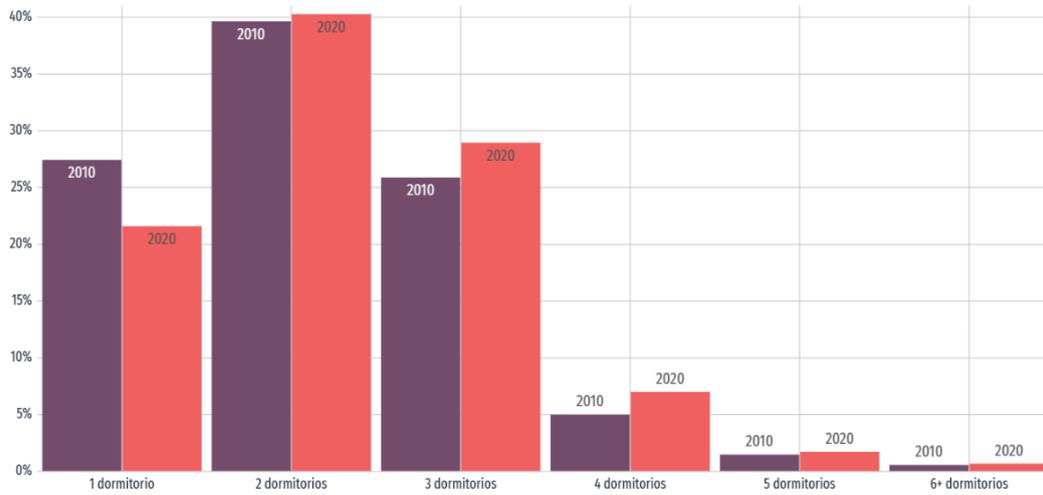


Figura 6. Distribución de viviendas particulares habitadas en 2010 y 2020.

Tomada de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tula-de-allende#population-and-housing>

1.10 Marco Referencial

Actualmente el Municipio de Tula de Allende está en crecimiento, convirtiéndose poco a poco en un municipio industrial, debido a la inversión que se ha realizado dentro del municipio, como el mantenimiento de la refinería Miguel Hidalgo, y su cercanía con el parque industrial de Atitalaquia, causando un crecimiento en la población, puesto que la llegada de empresas como ICA, GCI, entre otras, han traído una gran demanda de empleo dentro del municipio, al ser empresas que trabajan en diferentes partes de México, población de diferentes estados se han mudado al municipio, como consecuencia ha existido una gran demanda de casas habitación en la zona, convirtiendo la necesidad de casas habitación en un desafío para el municipio. A medida que la población aumenta, se intensifica la presión sobre la infraestructura existente, lo que provoca una escasez de viviendas adecuadas y accesibles. Este fenómeno genera no solo una mayor competencia por los espacios disponibles, sino también un alza en los precios de la tierra y de las propiedades, dificultando el acceso a una vivienda digna para muchas familias.

Además, la falta de planificación adecuada y el desarrollo desordenado pueden resultar en la expansión de asentamientos informales, con viviendas que carecen de servicios básicos y condiciones de habitabilidad apropiadas. Es crucial que se fomente la construcción de viviendas asequibles y sostenibles, acompañadas de una infraestructura adecuada que soporte el crecimiento poblacional. La planificación urbana debe priorizar la creación de comunidades integradas, donde los servicios, el transporte y las oportunidades laborales estén accesibles, garantizando así un desarrollo armónico que responda a las necesidades de la población dentro del municipio.

La construcción de nuevas viviendas no solo es una respuesta a la demanda inmediata, sino una inversión en la calidad de vida futura de los habitantes de la zona. Es imperativo que el crecimiento demográfico vaya acompañado de un desarrollo urbano planificado, que garantice la disponibilidad

de viviendas dignas para todos los sectores de la población, contribuyendo al bienestar general y al desarrollo económico del municipio.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Gestión de proyectos

La gestión de proyectos se define como el conjunto de procesos orientados a la planificación, organización, seguimiento y control de todas las fases que conforman un proyecto de construcción, desde su inicio hasta su finalización. Su propósito central es garantizar que las tareas se ejecuten de manera ordenada y eficiente, permitiendo a los responsables del proyecto coordinar adecuadamente las actividades, supervisar los avances y evaluar los resultados obtenidos. Esta práctica busca optimizar de forma integral los recursos, el tiempo y el presupuesto, con el fin de alcanzar los objetivos previamente establecidos.

En este proceso intervienen diversos actores, entre los que destacan los colaboradores, contratistas y proveedores de materiales, quienes participan de manera conjunta en la ejecución de las actividades. Asimismo, la gestión de proyectos implica la definición de procesos claros que faciliten la coordinación entre las diferentes áreas involucradas, reduciendo la posibilidad de errores, retrasos o sobrecostos.

Su importancia en la industria de la construcción radica en que constituye una herramienta estratégica para garantizar la eficiencia operativa. Una gestión adecuada permite minimizar riesgos, reducir costos innecesarios y aprovechar al máximo los recursos disponibles. De igual manera, contribuye al cumplimiento de los plazos establecidos, aspecto fundamental para la satisfacción de los clientes y la viabilidad económica de los proyectos. En síntesis, la gestión de proyectos no solo busca organizar las actividades de manera secuencial, sino también generar un entorno de trabajo eficiente y controlado, que incremente la calidad de los resultados y asegure el cumplimiento de las metas planteadas.

Brinda la obtención de objetivos bien definidos acorde a las necesidades, a la obtención de una buena alineación estratégica, seguimiento continuo de

cada una de las tareas a ejecutar y disminución de gastos y recursos. (Izertis., 2023).



Figura 7. Fases de la gestión de proyectos.

Tomada de: <https://blogdatlas.wordpress.com/2022/05/01/top-5-beneficios-gestion-de-proyectos-manuales-datlas/>

La gestión de proyectos consiste en cuatro grandes fases que representan la ejecución en su totalidad del proyecto, las cuales son: planificación, ejecución, monitoreo y cierre.

La planificación es la fase donde se define el marco completo del proyecto, estableciendo objetivos, alcance, y los recursos necesarios para llevarlo a cabo. Los componentes clave de esta fase incluyen:

Definición del alcance: Establecer qué se va a lograr y cuáles son los límites del proyecto, asegurando que todos los participantes tengan una comprensión clara de los objetivos.

Cronograma: Crear un plan temporal detallado que identifique las tareas, la secuencia en la que deben realizarse y la duración estimada de cada una.

Aquí es donde se utiliza el Método del Camino Crítico (CPM) y otras herramientas de programación.

Presupuesto: Estimar los costos asociados al proyecto y desarrollar un presupuesto que cubra todos los aspectos, incluyendo mano de obra, materiales y contingencias.

Recursos: Identificar y asignar los recursos necesarios, como personal, equipos y materiales, para asegurarse de que el proyecto se pueda ejecutar según lo planificado.

La fase de ejecución es donde se llevan a cabo las tareas y actividades planificadas para cumplir con los objetivos del proyecto. Es la fase más activa y generalmente la más larga. Sus componentes clave incluyen:

Gestión del equipo: Asignar tareas, dirigir al equipo y asegurar que todos estén alineados con los objetivos del proyecto. Es fundamental mantener la motivación y la productividad del equipo.

Gestión de recursos: Asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente y que estén disponibles cuando se necesiten. Esto incluye tanto los recursos humanos como materiales.

Comunicación: Mantener a todas las partes interesadas informadas sobre el progreso del proyecto, los cambios y cualquier problema que surja. La comunicación efectiva es crucial para el éxito de la ejecución.

El monitoreo se lleva a cabo de manera paralela a la ejecución, y su objetivo es asegurar que el proyecto se mantenga en el camino correcto. Los componentes clave incluyen:

Seguimiento del progreso: Comparar el progreso real con el planificado utilizando herramientas como el análisis del valor ganado (EVM). Esto ayuda a identificar desviaciones y tomar acciones correctivas a tiempo.

Control del cronograma: Asegurarse de que las tareas se completen a tiempo. Si se producen retrasos, se deben ajustar los planes para minimizar su impacto.

Control de costos: Monitorear los gastos para asegurarse de que el proyecto se mantenga dentro del presupuesto. Esto incluye identificar y gestionar cualquier sobrecosto.

Gestión de la calidad: Revisar continuamente los entregables para garantizar que cumplan con los estándares de calidad. Si se identifican problemas de calidad, se deben tomar medidas para corregirlos.

La fase de cierre es la conclusión formal del proyecto, en la que se finalizan todas las actividades y se entregan los resultados a los stakeholders. Los componentes clave de esta fase incluyen:

Entrega de entregables: Asegurarse de que todos los entregables se completen según los estándares acordados y se entreguen al cliente o a las partes interesadas.

Evaluación del proyecto: Realizar una revisión post-proyecto para analizar lo que salió bien, lo que podría mejorarse y qué lecciones se pueden aprender para futuros proyectos. Este proceso, conocido como "lecciones aprendidas", es esencial para el crecimiento y la mejora continua. (Lemus, I., 2020).

La gestión de tiempo en un proyecto de construcción es fundamental para cumplir los plazos y objetivos, evitando retrasos y optimizando los recursos, para conseguir eso existen diversos métodos para lograr los mejores resultados (Solís, R., 2013). Algunos de es el método de la cadena crítica (CCM) que consiste en la construcción de cadenas críticas que evitan problemas en la programación del proyecto y así evitar un mayor impacto en las tareas y en la ejecución, se realizan con el fin de tener una visualización de todo del proyecto y así analizar el comportamiento que tendrá cada una de las tareas y definir con

mayor precisión las acciones que se tomaran, esta metodología recomienda hacer diferentes pruebas en la definición de cadenas para obtener diferentes panoramas y resultados, para concluir con la mejor ruta en la ejecución de tareas, optimizando todos los recursos referentes al proyecto (Silva Giraldo, C. A.; Dugarte Mendoza, J. S. y Mejía Jálabe, A., 2018).

Al igual una metodología muy importante dentro del ámbito de la construcción es el diagrama de Gantt que consiste en identificar las actividades que se ejecutarán tomando en cuenta los recursos y el tiempo estimado de cada tarea para evitar tiempos muertos y una visualización de todos los tiempos y recursos necesarios. Esta metodología distribuye las actividades en un calendario para tener una visión de los tiempos de duración, su inicio, fin y tiempo necesario para cada tarea, permite llevar un control brindando información de que porcentaje total representa cada actividad y comparar el avance respecto a la planeación inicial. Este gráfico consiste en dos ejes, el horizontal representa los tiempos acordes a la planeación (hora, día, semana, mes) y el eje vertical nos brinda las actividades que conforman cada trabajo (Hinojosa, M., 2003).

La implementación de la metodología justo a tiempo (Just-In-Time Scheduling) es otra manera de programación adecuada para la ejecución de actividades dentro de un proyecto, esta consiste en la optimización de tiempos, reducción de gastos y tener un buen control de los procesos necesarios, dando como resultado una correcta ejecución de tareas y entrega de resultados acorde a los plazos. Aborda problemáticas y da soluciones para el control de los procesos, la programación y seguimiento de tareas, con el objetivo de la toma de las mejores decisiones y un trabajo sincronizado entre todas las áreas involucradas en la ejecución del proyecto, cumpliendo con las metas de entregables y financieras acordes a lo establecido en la planeación (González, F.; Vargas T., 2018).

La metodología PERT es una herramienta valiosa en el ámbito de la construcción y programación de proyectos, esta va de la mano de la CPM, este

método consiste en definir a detalle las actividades dentro del proyecto como lo son los elementos, etapas, pasos, estudios, objetivos, analizando la relación tiempo-costos de cada una de ellas, este método supone que las actividades pueden ejecutarse de inicio a fin de manera independiente llevando una secuencia específica teniendo dos variables, ejecución con recursos limitados o ilimitados, cada actividad se debe ordenar y ejecutar de manera que se conozca las actividades que preceden la siguiente tarea, conociendo las actividades que conectan una de otra, obteniendo como resultado una red de actividades que brinden optimización de los recursos para el alcance del objetivo (Cuervo, J., 2013).

2.2. Ruta crítica

En el área de gestión y administración de un proyecto existen diversas metodologías para la correcta ejecución y tomar las mejores decisiones dentro de estos, los cuales nos llevan a lograr el alcance esperado. El método de la ruta crítica es una técnica de gestión de proyectos ampliamente utilizada en el ámbito de la construcción, esta técnica se enfoca en identificar cada una de las actividades con mayor relevancia y también en los procesos críticos dentro de la construcción para la correcta finalización y gestión de los recursos y el tiempo de ejecución del proyecto. Existen diferentes métodos para trazar la mejor ruta crítica dentro del proyecto como lo es la metodología PERT que consiste en organizar, programar y planificar las tareas de un proyecto de la manera más idónea (Enrique-Arguello, E., 2018).

En la metodología CPM para cada actividad se la asignará una cierta cantidad de tiempo para su correcta ejecución, el método se enfoca en identificar las actividades que requieran un mayor esfuerzo o relevancia dentro del mismo, esto conlleva una relación directa con el tiempo-costos, entre mayor esfuerzo o mayor necesidad de recursos (materiales, humanos), mayor será el impacto

económico, ahí es cuando el CPM prioriza las actividades acorde a la importancia de las mismas para lograr mejores resultados (Navarrete, F., 2013).

La ruta crítica es la secuencia de actividades en un proyecto que determina la duración total del mismo. Es el camino más largo en el diagrama de red de actividades, lo que significa que cualquier retraso en alguna de estas actividades retrasa la finalización del proyecto. Identificar la ruta crítica es crucial para la gestión del tiempo, ya que permite a los gerentes de proyecto enfocar sus esfuerzos en las actividades que no pueden permitirse retrasar.

Las actividades críticas son las tareas o actividades que forman parte de la ruta crítica. Estas actividades no tienen holgura (o tienen una holgura mínima), lo que significa que no pueden retrasarse sin afectar la fecha de finalización del proyecto. Gestionar estas actividades de manera efectiva es esencial para asegurar que el proyecto se complete a tiempo.

El camino crítico es otro término que se utiliza de manera intercambiable con "ruta crítica". Representa la misma secuencia de actividades en el proyecto que son críticas para completar el proyecto en el tiempo planificado. Es el camino que define el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto, considerando las duraciones de todas las actividades y las interdependencias entre ellas.

Hoy en día los proyectos de construcción tienen una demanda mayor en los aspectos de optimización de recursos, tiempo de entrega y presupuesto, teniendo una mayor exigencia para los contratistas, orillándolos a desarrollar estrategias diferentes cubriendo las necesidades de cada uno de los proyectos, acelerando los procesos, mismos que se logran gracias a las diferentes metodologías, una de ellas la CPM, puesto que esta trae diversos beneficios como lo son el cumplimiento de plazos de entrega, ya que esta nos brinda que el avance y ejecución de los proyectos se logren acorde al cronograma, evitando retrasos, también nos da una gestión eficiente de recursos al priorizar las actividades críticas de cada proyecto y así asignar los recursos de la mejor manera, dando como consecuencia la reducción de costos ya que evita retrasos

o malas ejecuciones en los trabajos, teniendo un mayor control general de la obra identificando posibles retrasos y así tomar acciones antes de que los potenciales problemas escalen (García, M., 2014).

Este método ayuda a coordinar e identificar posibles problemas para así facilitar la administración de la obra y realizar un óptimo trabajo, planeando, organizando y dirigiendo cada una de las actividades a ejecutarse en tiempo crítico y con un óptimo costo, permite visualizar en un documento el proyecto, identificando contradicciones en los trabajos, dando como resultado un proyecto con el menor porcentaje de fracaso. Evita desviaciones de tiempo, costo y alcance, optimizando recursos brindando un gran beneficio para el proyecto, obteniendo un proyecto exitoso desde la planificación hasta su culminación.

2.3. Holgura

La holgura se define como el margen o la ventana de tiempo que se tiene entre la fecha más temprana y la fecha más tarde que se tiene para concluir cierta tarea o actividad programada dentro del cronograma de obra, en la holgura contamos con dos tipos de la misma, la holgura total, que se define como la cantidad de tiempo que una actividad se puede retrasar sin que esta afecte la finalización del proyecto, y el otro tipo de holgura, es la holgura libre, que se define como la cantidad de tiempo que se puede retrasar sin afectar el inicio temprano de la siguiente actividad. (Paredes, G., 2020).

La Holgura de una actividad, es el tiempo que tiene disponible, ya sea atrasarse en su fecha de inicio, o bien alargarse en su tiempo esperado de ejecución, sin que ello provoque retraso alguno en la fecha de término del proyecto.

La holgura de una actividad se calcula de la siguiente forma:

$H = LF - EF$ o bien $H = LS - ES$, donde el tiempo de inicio más tardío “LS” (Latest Start) y de término más tardío “LF” (Latest finish) para cada actividad del

proyecto, el tiempo de inicio más temprano “ES” (Early Start) y de término más temprano “EF” (Early Finish) para cada actividad del proyecto.

La holgura en un proyecto es el tiempo adicional que una tarea puede retrasarse sin afectar la fecha de finalización del proyecto o de otras tareas dependientes. La gestión de la holgura es esencial para mantener el control del cronograma, ya que influye directamente en la flexibilidad del proyecto y su capacidad para adaptarse a cambios imprevistos. La holgura proporciona un margen de maniobra para gestionar retrasos sin impactar inmediatamente en la fecha de finalización del proyecto. Si una tarea tiene holgura, puede absorber pequeños retrasos o desviaciones sin necesidad de reprogramar todo el proyecto. La disponibilidad de holgura permite que el equipo de proyecto responda rápidamente a problemas imprevistos, como demoras en la entrega de materiales o problemas técnicos. Esto reduce la presión para resolver problemas inmediatamente, ya que la holgura actúa como un amortiguador que evita que estos problemas afecten el cronograma general, si una tarea con holgura puede posponerse, los recursos inicialmente asignados a esa tarea pueden ser redirigidos temporalmente a tareas más críticas o problemáticas que no tienen holgura, esto maximiza el uso eficiente de los recursos disponibles y ayuda a mantener el proyecto en marcha, Una holgura bien gestionada puede ayudar a evitar sobrecostos relacionados con retrasos, ya que permite absorber ciertos imprevistos sin necesidad de acelerar otras tareas, lo que generalmente aumenta los costos. Al mantener un control estricto sobre la holgura, se minimiza la necesidad de ajustes de última hora que podrían inflar el presupuesto.

2.4. Optimización de la Holgura

La holgura dentro de un proyecto de construcción es de suma importancia puesto que brinda un margen de tiempo dentro de la secuencia de actividades y su aprovechamiento da como resultado la optimización de recursos y de tiempo, algunas de las técnicas para su optimización de la misma, es desplazar un poco el tiempo dentro de la secuencia de las actividades, un tiempo mínimo que no

afecte la finalización del proyecto y así tener una holgura dentro de algunas de las actividades críticas.

Al obtener ese espacio de tiempo dentro de las actividades influye en la eficiencia del proyecto, ya que se obtiene un mejor monitoreo dentro de las actividades, optimización de los recursos, como entrega de materiales, optimización en los recursos humanos involucrados en cada una de las actividades, y una optimización dentro del recurso económico, ya que esta afecta un poco la ruta crítica, ya que se da un margen de holgura en cada una de las actividades, sin embargo esto afecta muy poco a la finalización y planeación de las actividades dentro del proyecto. (Holguín, L., 2023).

2.5. Factores que afectan la holgura y la ruta crítica en la construcción

En la gestión de proyectos de construcción, el análisis de la holgura y de la ruta crítica resulta esencial para garantizar la finalización de las obras en el tiempo y con los recursos previstos. La holgura, entendida como el margen de tiempo disponible para realizar una actividad sin retrasar el proyecto en su conjunto, constituye un indicador de flexibilidad en la programación. Por su parte, la ruta crítica agrupa aquellas actividades que, al no poseer holgura, determinan de manera directa la duración total del proyecto. Tanto la holgura como la ruta crítica son elementos sensibles, pues se ven influenciados por múltiples factores, internos y externos, que pueden generar retrasos, aumentos de costos y dificultades en la coordinación general.

Los factores internos corresponden a los elementos de gestión y organización que dependen directamente de los responsables del proyecto, tales como la disponibilidad de recursos, la capacitación del personal y la administración del tiempo. En contraste, los factores externos se relacionan con condiciones ajenas al control de los gestores, como el clima, las regulaciones gubernamentales, la logística de suministros o las variaciones del mercado. Comprender y anticipar el impacto de ambos tipos de factores es indispensable

para optimizar la planeación y minimizar riesgos en la ejecución de proyectos de vivienda.

Uno de los factores internos más determinantes es la disponibilidad de recursos, la cual abarca materiales, equipos, maquinaria y mano de obra. En la práctica, la falta de alguno de estos componentes genera retrasos inmediatos que reducen la holgura de las actividades y, en casos más graves, afectan la ruta crítica. Por ejemplo, la ausencia de un material clave, como el cemento en la etapa de cimentación, no solo interrumpe esa actividad, sino que también retrasa todas las tareas posteriores que dependen de ella, generando un efecto en cadena que prolonga la duración total del proyecto.

La disponibilidad de maquinaria también es un aspecto crítico. En proyectos de vivienda, equipos como mezcladoras de concreto, grúas o retroexcavadoras suelen ser compartidos entre diferentes frentes de trabajo. La falta de coordinación en su uso o su descompostura imprevista obliga a detener actividades programadas, reduciendo la holgura y poniendo en riesgo la continuidad de la ruta crítica.

Asimismo, la disponibilidad de mano de obra representa un desafío constante. Si bien en algunos contextos puede existir abundancia de trabajadores, no siempre se cuenta con personal suficiente en momentos clave del proyecto. La ausencia de trabajadores especializados, como soldadores o electricistas, genera retrasos que disminuyen la flexibilidad del cronograma. En este sentido, la planeación adecuada de recursos humanos y materiales es fundamental para garantizar la estabilidad de la holgura.

Otro factor interno de gran relevancia es la capacitación y competencia de la mano de obra. La experiencia y habilidades del personal determinan la eficiencia con la que se realizan las tareas programadas. Cuando los trabajadores carecen de la capacitación necesaria, las actividades suelen ejecutarse con lentitud, errores frecuentes o necesidad de retrabajos, lo que

incrementa los tiempos de ejecución. Esta situación reduce la holgura y, en consecuencia, repercute en la ruta crítica.

En el caso de proyectos de vivienda, donde cada actividad se encuentra estrechamente ligada a otra, la falta de competencia en una etapa puede tener consecuencias acumulativas. Por ejemplo, una mala ejecución en los trabajos de cimentación obliga a realizar correcciones que retrasan la colocación de los muros y, posteriormente, la instalación de acabados. Así, la deficiencia en una fase temprana compromete la programación de todo el proyecto.

La inversión en capacitación y supervisión técnica es, por tanto, un elemento estratégico. Garantizar que el personal conozca los procedimientos, maneje los equipos y cumpla los estándares de calidad establecidos contribuye no solo a reducir errores, sino también a mantener la holgura de las actividades y proteger la ruta crítica frente a retrasos evitables.

La gestión del tiempo constituye otro factor interno decisivo. Implica planificar, programar y controlar las actividades con base en tiempos realistas y metas alcanzables. Una programación ineficiente, caracterizada por cronogramas apresurados o poco estructurados, limita la holgura y genera cuellos de botella en la ejecución.

Cuando las tareas no inician ni concluyen en los plazos previstos, la holgura disponible se reduce progresivamente, lo que provoca que incluso actividades inicialmente no críticas se conviertan en parte de la ruta crítica. Este efecto es especialmente problemático en proyectos de vivienda, donde las etapas constructivas se desarrollan en secuencia lógica: cimentación, estructura, instalaciones y acabados. El retraso en una etapa inicial desencadena, inevitablemente, una cadena de atrasos posteriores.

La gestión del tiempo no solo depende de la planificación inicial, sino también de la capacidad de control y seguimiento durante la ejecución. La ausencia de monitoreo continuo impide detectar retrasos a tiempo, lo que dificulta implementar medidas correctivas y aumenta el riesgo de incumplimiento

del cronograma. Por ello, un control riguroso del tiempo, acompañado de herramientas de programación como la metodología CPM, es esencial para mantener la holgura y salvaguardar la ruta crítica.

Entre los factores externos, las condiciones climáticas destacan por su impacto directo en la ejecución de proyectos de vivienda. Fenómenos como lluvias intensas, temperaturas extremas o fuertes vientos afectan de manera significativa el desarrollo de actividades al aire libre. Por ejemplo, el colado de losas requiere condiciones climáticas estables; de lo contrario, la calidad del concreto puede verse comprometida. De igual manera, las lluvias prolongadas impiden realizar excavaciones o labores de cimentación, lo que obliga a suspender actividades críticas y reprogramarlas.

Estos imprevistos no solo generan retrasos, sino que también incrementan los costos. En ocasiones, es necesario contratar equipos adicionales para acelerar la ejecución una vez que las condiciones mejoran, o bien implementar medidas de seguridad especiales para proteger materiales y trabajadores. En consecuencia, las condiciones meteorológicas constituyen una variable difícil de controlar, que exige una planificación flexible y estrategias de contingencia para minimizar sus efectos sobre la holgura y la ruta crítica.

Otro factor externo que influye de manera notable es el marco regulatorio. Los proyectos de vivienda requieren múltiples permisos y autorizaciones, como licencias de construcción, evaluaciones de impacto ambiental y verificaciones de uso de suelo. La obtención de estos documentos suele implicar tiempos prolongados, que en muchos casos no son considerados adecuadamente en la programación inicial.

Cuando los permisos se retrasan, las actividades críticas no pueden iniciar, lo que provoca la suspensión parcial o total de la obra. En escenarios más adversos, la falta de autorizaciones puede derivar en sanciones legales o en la clausura temporal del proyecto. Estos contratiempos modifican directamente la holgura disponible y, en casos extremos, obligan a redefinir la ruta crítica.

La logística de entrega y suministro de materiales constituye otro factor externo crucial. En proyectos de vivienda, los materiales como cemento, acero, madera y acabados deben entregarse en los plazos previstos para asegurar el cumplimiento del cronograma. Los retrasos en la entrega, la falta de coordinación en el transporte o la carencia de espacios de almacenamiento adecuados generan desorganización y afectan la programación de actividades dependientes.

Por ejemplo, si los materiales para la instalación eléctrica no llegan en el tiempo acordado, la actividad se retrasa y, con ella, las etapas posteriores relacionadas con los acabados. De esta forma, una deficiencia logística compromete la holgura y puede desplazar la ruta crítica.

Finalmente, las variaciones en el mercado de materiales y mano de obra representan un riesgo constante. El aumento inesperado en el precio de insumos clave, como acero o concreto, puede obligar a ajustar el presupuesto y retrasar actividades programadas. De igual manera, la escasez de mano de obra calificada incrementa la dificultad para cumplir con el cronograma previsto, pues obliga a reprogramar tareas o extender sus tiempos de ejecución.

En este sentido, la volatilidad del mercado se traduce en incertidumbre financiera y operativa que incide directamente en la estabilidad de la holgura y en la confiabilidad de la ruta crítica.

2.6. Normativa aplicable

Dentro del municipio de Tula de Allende, Hidalgo, las construcciones de tipo casa habitación menor de 1000 metros cuadrados se rige bajo el reglamento de construcción y desarrollo urbano para el municipio de Tula de Allende, de igual manera estas construcciones las rige el reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas para el estado de Hidalgo.

Estas normativas influyen directamente en la planeación y ejecución de proyectos, puesto que lo primordial para comenzar cualquier proyecto de casa

habitación es necesario contar con la licencia de construcción, para poder solicitarla es necesario contar con las escrituras y con un plano de localización del terreno, significando un retraso dentro de la planificación, puesto que en la localidad, la mayoría de predios, no cuentan con escrituras y se realizan de manera informal, sin siquiera contar con licencia de construcción. (Tula de Allende, 2024).

Capítulo 3: Metodología

3.1 Método Estadístico

La metodología aplicada en esta investigación se diseñó con el objetivo de proporcionar un marco claro y sistemático para el análisis de los proyectos de construcción de vivienda de interés social en el municipio objeto de estudio. Se buscó establecer un procedimiento que no solo permitiera la recopilación y organización de datos relevantes, sino también su análisis mediante un enfoque estadístico exploratorio de carácter cuantitativo, garantizando así resultados confiables y útiles para la interpretación de la problemática planteada.

El enfoque adoptado en este estudio es cuantitativo con aplicación del método estadístico exploratorio. Este método resulta particularmente adecuado en contextos donde se busca realizar una primera aproximación a un conjunto de datos, con el fin de identificar patrones, tendencias, similitudes o diferencias que puedan orientar futuras investigaciones más profundas.

El análisis exploratorio se centra en la organización, descripción e interpretación preliminar de los datos recopilados. No pretende confirmar hipótesis complejas, sino reconocer relaciones posibles entre variables, aportando así una visión general que facilita comprender la estructura del fenómeno investigado (Zendesk, 2023). En este caso, el método permitió analizar la relación entre las dimensiones promedio de las viviendas de interés social y los problemas derivados de la falta de planeación en los proyectos de autoconstrucción.

Para el análisis, se estableció como referencia una superficie base de 70 m², identificada como la medida promedio de las viviendas de interés social dentro de la zona en estudio. Esta dimensión fue seleccionada debido a que representa el tamaño más común en los proyectos observados y, por tanto, constituye un punto de partida representativo para la investigación.

Con el fin de ampliar el rango de análisis y evitar limitaciones derivadas de trabajar con un único valor de referencia, se incluyeron variaciones del 10% por

encima y por debajo de la medida base. Así, se consideraron los siguientes intervalos:

- 70% de la medida base (49 m²)
- 80% de la medida base (56 m²)
- 90% de la medida base (63 m²)
- 100% de la medida base (70 m²)
- 110% de la medida base (77 m²)
- 120% de la medida base (84 m²)

De este modo, la muestra contempló un espectro representativo de viviendas que se encuentran dentro de los parámetros constructivos característicos de la zona. La inclusión de estas variaciones permitió observar diferencias en el comportamiento de los proyectos según su tamaño, aportando un análisis comparativo más completo.

La recolección de datos se llevó a cabo a través de un levantamiento documental y observacional en diferentes zonas del municipio. El procedimiento se desarrolló en tres etapas:

1. Identificación de áreas de estudio: se delimitaron diversas colonias y fraccionamientos en los que predomina la construcción de viviendas de interés social.
2. Registro de información: se recopilaron datos relacionados con las dimensiones de las viviendas, procesos constructivos, recursos empleados y tiempos de ejecución observados.
3. Organización de la información: los datos se clasificaron de acuerdo con la superficie de construcción en los intervalos previamente definidos (70%, 80%, 90%, 100%, 110% y 120%).

Este proceso garantizó que la información utilizada en el análisis fuera representativa y sistemáticamente organizada, facilitando su posterior estudio mediante el método estadístico exploratorio.

El análisis exploratorio de datos se aplicó como herramienta principal para procesar y comprender la información recopilada. Entre las técnicas utilizadas se encuentran:

- Distribución de frecuencias: para identificar la proporción de viviendas que se ubican dentro de cada intervalo de superficie definido.
- Análisis comparativo: con el fin de evaluar las diferencias en los tiempos de ejecución y el uso de recursos entre viviendas de distintas dimensiones.
- Identificación de patrones y tendencias: para reconocer de qué manera las características constructivas influyen en la gestión del proyecto y en la aparición de retrasos o sobrecostos.

La aplicación de este método permitió obtener una visión preliminar del comportamiento de los proyectos analizados, sin necesidad de recurrir a pruebas inferenciales complejas. Esto resulta especialmente relevante en investigaciones de carácter descriptivo, donde la prioridad es comprender y representar el fenómeno observado antes que probar hipótesis causales.

El componente cuantitativo de la metodología se refleja en la utilización de datos numéricos concretos (superficie en metros cuadrados, porcentajes de variación, distribución en categorías) y en el análisis de su comportamiento. Este enfoque permitió establecer relaciones claras entre las dimensiones de las viviendas y los factores asociados a la planeación de proyectos de construcción.

Al organizar los datos según los intervalos de superficie, se pudo observar cómo ciertas variaciones en el tamaño de la vivienda influyen en la demanda de recursos, en la duración de determinadas actividades críticas (como cimentación o estructuras) y, en consecuencia, en la ruta crítica del proyecto.

De esta manera, el análisis cuantitativo ofreció información precisa y verificable, que respalda la validez de los resultados y su utilidad para la gestión de proyectos similares.

La elección de este enfoque metodológico se justifica por varias razones:

1. Adecuación al objeto de estudio: el análisis de proyectos de autoconstrucción en viviendas de interés social requiere un método que permita comprender las variaciones y tendencias en las dimensiones de las viviendas.
2. Flexibilidad del análisis exploratorio: al no depender de hipótesis rígidas, facilita la detección de patrones no previstos inicialmente.
3. Aplicación práctica en la construcción: los resultados derivados del análisis exploratorio ofrecen información útil para optimizar la planeación y gestión de proyectos futuros, especialmente en contextos donde la autoconstrucción predomina y la falta de planeación es un problema recurrente.
4. Enfoque cuantitativo confiable: la utilización de datos medibles permite establecer relaciones claras y fundamentadas, lo que aporta rigor científico al estudio.

La metodología utilizada combina un enfoque exploratorio con un análisis cuantitativo, tomando como base una muestra representativa de viviendas de interés social en el municipio de estudio. A partir de la referencia de 70 m² y sus variaciones porcentuales, se estableció un marco de análisis que permitió identificar patrones en la planeación y ejecución de los proyectos de autoconstrucción.

Este procedimiento metodológico proporcionó información preliminar valiosa para comprender cómo la dimensión de la vivienda influye en la gestión de recursos, tiempos y actividades críticas, lo cual constituye un insumo fundamental para futuros estudios más profundos y para la aplicación práctica

de metodologías de planeación como el CPM en proyectos de construcción de vivienda de interés social.

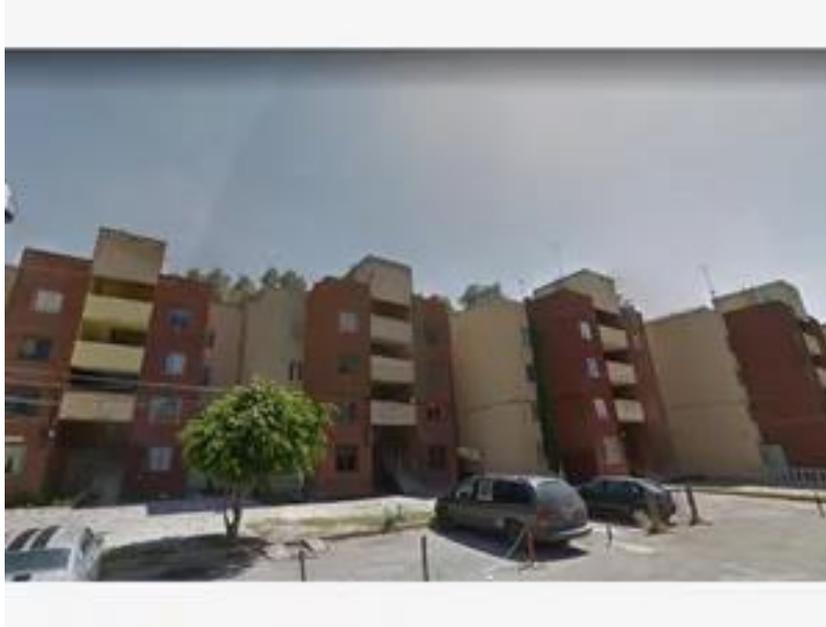


Figura 8. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 49 m²



Figura 9. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 56 M2

Tomada de: <https://casas.trovit.com.mx/casa-tula-allende>



Figura 10. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 63 M2

Tomada de: <https://casas.trovit.com.mx/casa-tula-allende>



Figura 11. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 70 M2

Tomada de: <https://casas.trovit.com.mx/casa-tula-allende>



Figura 12. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 77 M2

Tomada de: <https://casas.trovit.com.mx/casa-tula-allende>



Figura 13. Ejemplo típico de vivienda multifamiliar de interés social de 84 M2

Tomada de: <https://casas.trovit.com.mx/casa-tula-allende>

Después de reunir los datos correspondientes a las viviendas seleccionadas como muestra, se recurrió a la utilización de costos paramétricos como base de análisis económico. Dichos costos se definen como un resultado derivado del estudio y la comparación de construcciones previamente ejecutadas, considerando precios de materiales, rendimientos de mano de obra y especificaciones técnicas comunes en la industria de la construcción. En términos generales, constituyen un método aproximado para determinar el costo real de una obra dentro de parámetros previamente estandarizados. Para esta investigación se emplearon los costos paramétricos publicados por el Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC, 2024), los cuales representan una fuente reconocida y confiable dentro del sector de la construcción en México.

Con base en esta información, se calcularon los costos paramétricos de la vivienda tipo seleccionada como base de estudio, con una superficie de 70 m². Para ello fue necesario desglosar las principales partidas constructivas que intervienen en este tipo de proyectos, tales como: cimentación, estructura, fachadas y techos, albañilería y acabados, instalaciones hidrosanitarias, así como instalaciones eléctricas y de gas. Este desglose permitió obtener una visión

más clara y específica de la distribución de los costos por rubros, facilitando la comparación y el análisis de las viviendas muestra consideradas dentro de la investigación.

Con el propósito de proteger los cálculos frente a las variaciones inflacionarias, los costos se expresaron en Unidades de Inversión (UDIS). Estas unidades, creadas por el Banco de México, tienen la función de preservar el valor del dinero frente a la inflación, actualizándose diariamente con base en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). Su empleo en esta investigación resulta pertinente, ya que las UDIS son comúnmente utilizadas en operaciones financieras y proyectos de largo plazo, garantizando que los resultados mantengan su validez en un contexto económico cambiante.

Una vez obtenidos los datos relativos tanto al tiempo como a los costos paramétricos, se procedió a estructurar la planeación temporal de las actividades. Para ello se elaboró un diagrama de Gantt mediante el uso del software Microsoft Project (MS Project), una de las herramientas más utilizadas en la gestión y control de proyectos de construcción. El empleo de este software se justifica por su capacidad para organizar, calendarizar y dar seguimiento a las actividades de manera sistemática, lo cual resulta fundamental para un análisis de la ruta crítica y de las holguras disponibles dentro del cronograma.

El proceso de trabajo en MS Project consistió en introducir cada una de las actividades correspondientes a las partidas previamente definidas, asignando a cada una de ellas una duración estimada y, en su caso, los recursos requeridos. Posteriormente, se establecieron las dependencias lógicas entre actividades, es decir, las relaciones de precedencia y sucesión que determinan el orden en que estas debían ser ejecutadas. Gracias a estas funciones, el software permitió construir un cronograma visual y dinámico, donde las barras de Gantt muestran de manera clara el inicio, la duración y el término de cada actividad.

Asimismo, MS Project generó automáticamente el cálculo de las holguras de cada actividad, identificando cuáles podían retrasarse sin afectar la fecha final del proyecto y cuáles debían ejecutarse en los tiempos establecidos al formar parte de la ruta crítica. Este aspecto fue esencial dentro de la metodología, ya que proporcionó un soporte técnico sólido para comprender cómo los diferentes factores internos y externos podían influir en el tiempo total de ejecución de las viviendas de interés social estudiadas.

La aplicación del software MS Project en esta investigación representó un elemento clave para garantizar la confiabilidad y la organización de los datos. Su utilización no se limitó a la elaboración de un cronograma estático, sino que permitió un análisis dinámico de la duración de las actividades, la disponibilidad de holguras y la identificación de la ruta crítica, elementos indispensables para cumplir con los objetivos planteados. Además, al vincular los resultados de los costos paramétricos con la programación en MS Project, se logró una metodología integral que abarca tanto los aspectos económicos como los temporales del proyecto, lo que proporciona un marco sólido para la toma de decisiones y la optimización de recursos en la construcción de vivienda de interés social.

En el análisis de holguras se aplicó la metodología de la ruta crítica mediante el uso del software *Microsoft Project*. Este procedimiento permitió calcular los tiempos disponibles en actividades no críticas, identificar las holguras totales y libres de cada tarea, y determinar cuáles actividades podían reprogramarse sin afectar la duración total del proyecto. Esta información resultó clave para optimizar la asignación de recursos, evitando tiempos muertos y mejorando la eficiencia del cronograma.

Las figuras 14 a 19 muestran los diagramas de Gantt y la representación de las holguras calculadas para cada uno de los proyectos analizados: 49 m², 56 m², 63 m², 70 m², 77 m² y 84 m², respectivamente. En dichas figuras se observa la diferencia entre las actividades críticas, que determinan la duración total del proyecto, y las actividades con margen de holgura, que permiten cierta

flexibilidad en su ejecución. Este análisis gráfico facilitó la visualización del comportamiento de cada proyecto y constituyó la base para reorganizar tareas, redistribuir recursos y garantizar una programación más eficiente.

3.2 Holgura

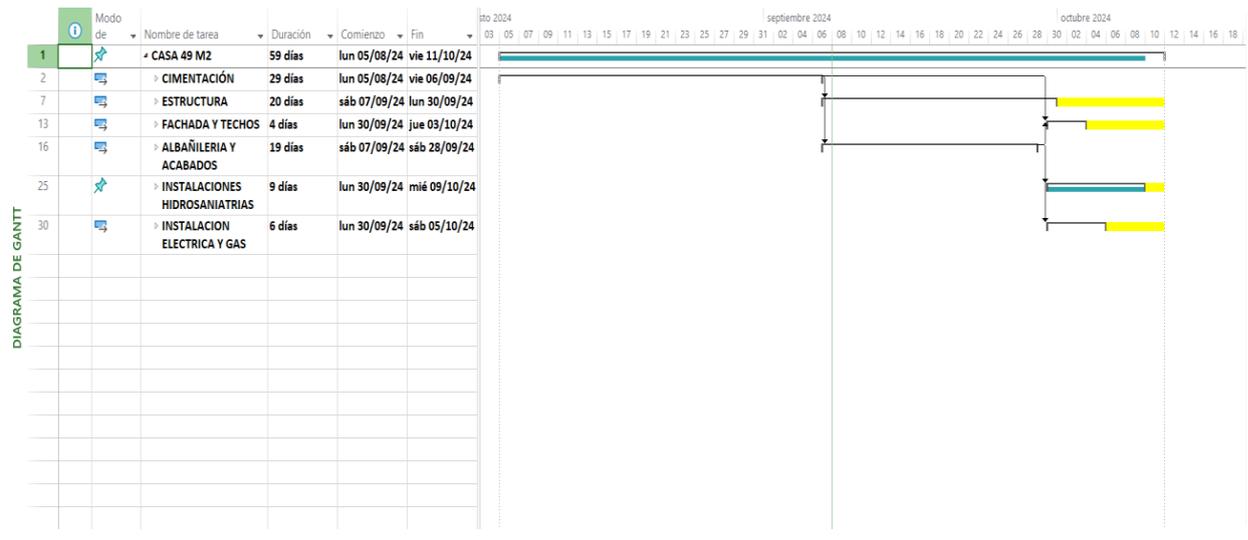


Figura 14. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 49 M2

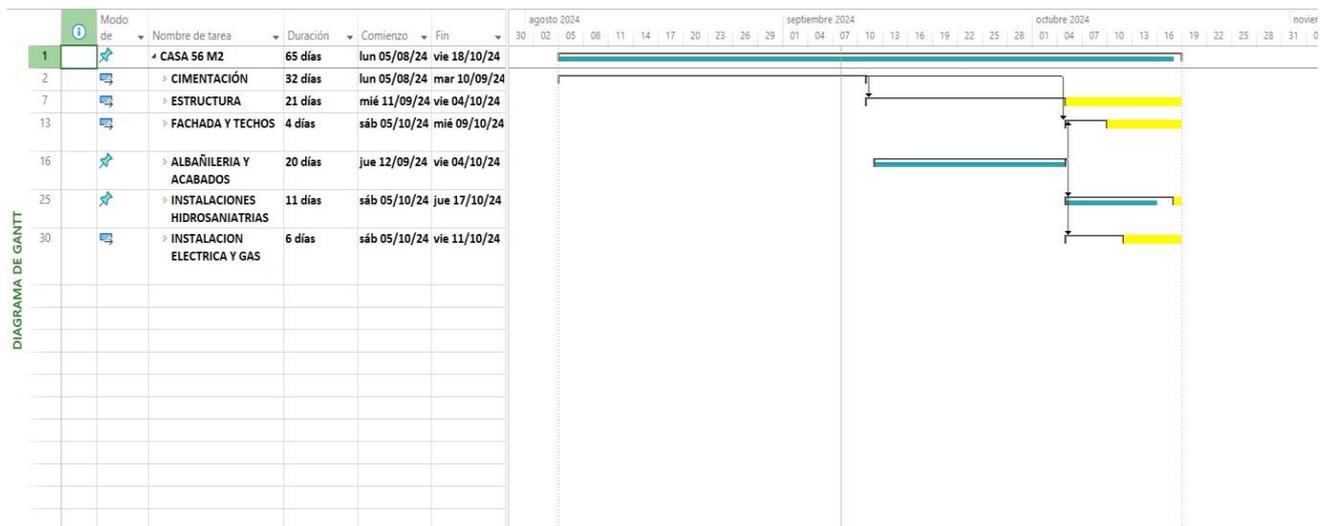


Figura 15. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 56 M2

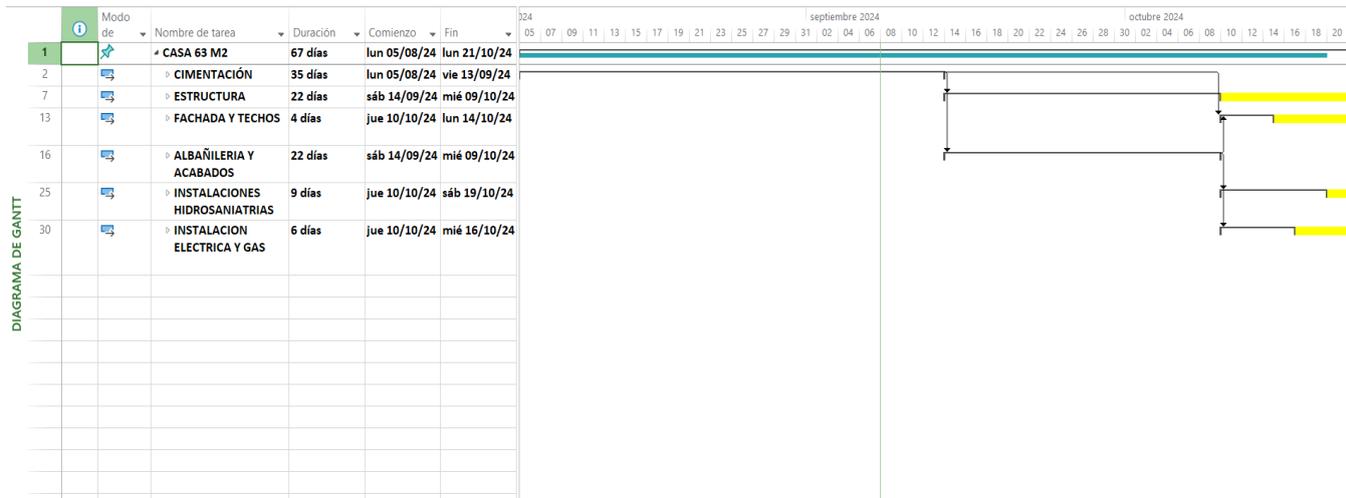


Figura 16. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 63 M2

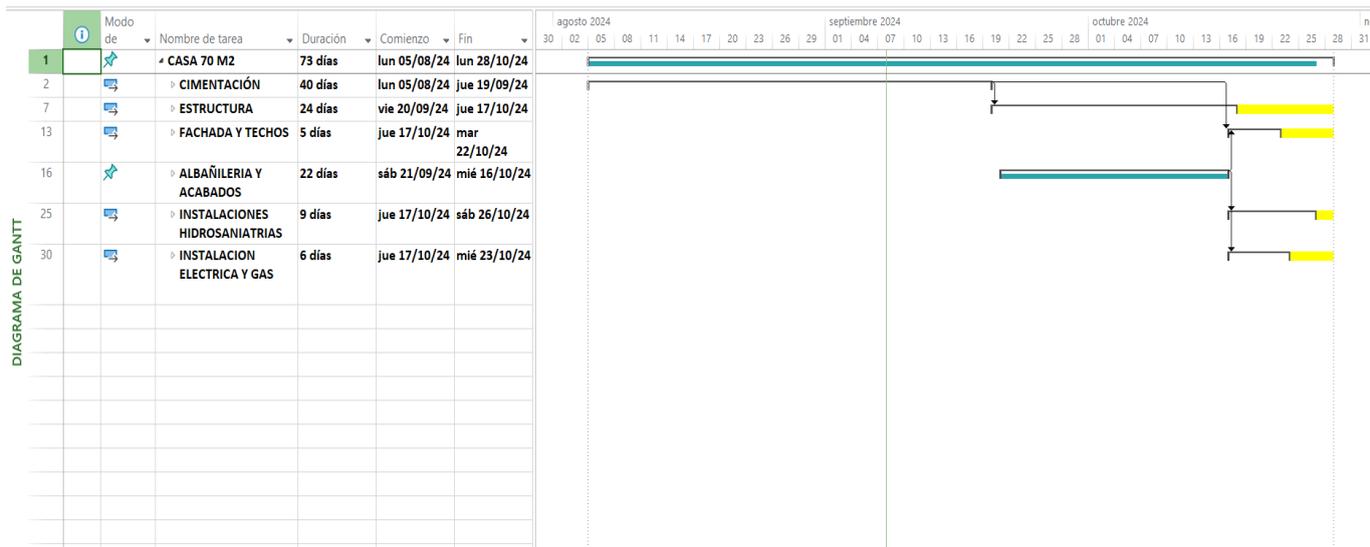


Figura 17. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 70 M2

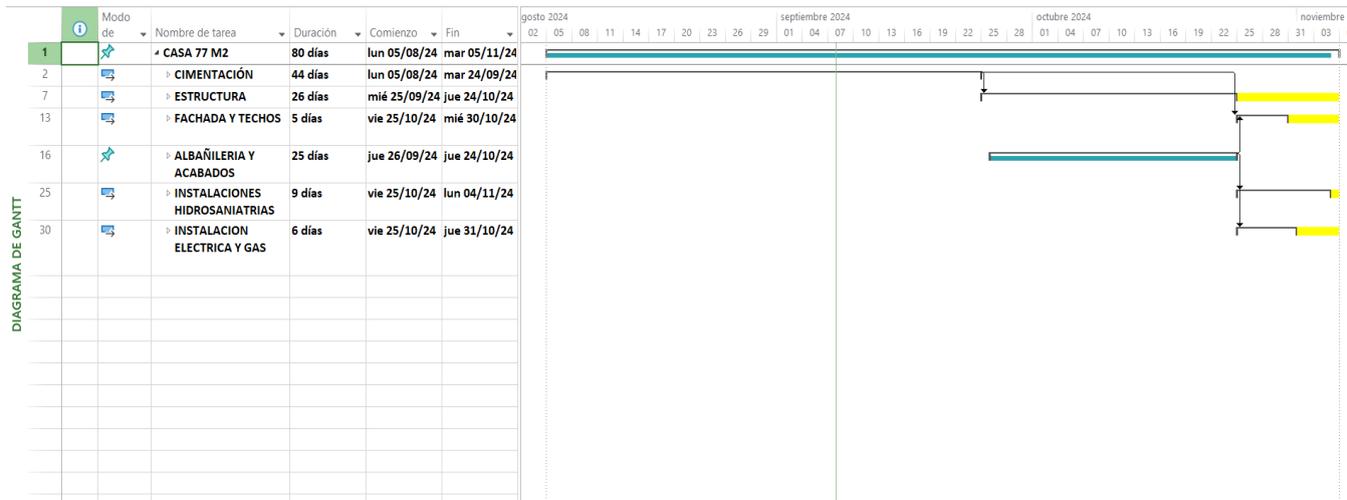


Figura 18. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 77 M2

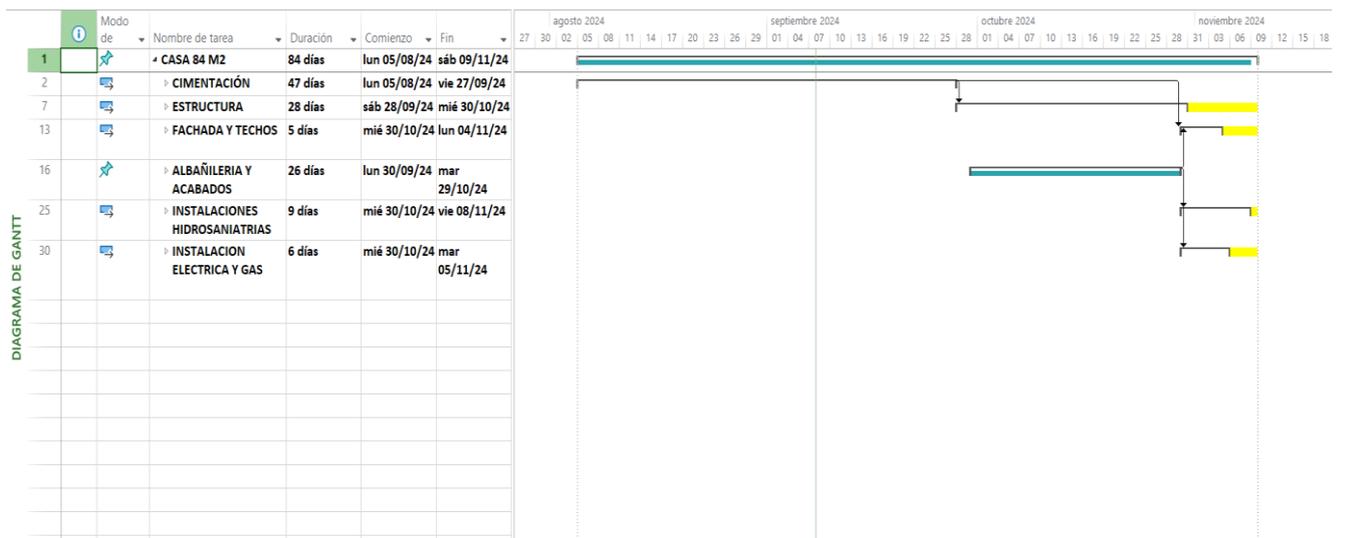


Figura 19. Diagrama de Gantt y holgura en proyecto de casa de 84 M2

Capítulo 4: Resultados

4.1. Presentación de datos

Para el análisis de datos se tomaron en cuenta los modelos de casas obtenidos de 49 M2, 56 M2, 63 M2, 70 M2, 77 M2 y 84 M2, se tomaron en cuenta las partidas más relevantes dentro de proyectos de estas características que son:

- Cimentación
- Estructura
- Fachada y techos
- Albañilería y acabados
- Instalación hidrosanitaria
- Instalación eléctrica y gas

En cada una de estas partidas se analizaron a través de los conceptos necesarios que conforman cada de una de las partidas, las cuantificaciones, la cantidad de trabajo que se tiene que realizar para llevar a cabo cada actividad, también se analizaron los rendimientos que tienen los trabajadores en la zona de Tula de Allende, y por último se analizaron la cantidad de días que se tardará en realizar cada una de las actividades obteniendo un total de tiempo por partida.

Los datos analizados se plasmaron en tablas y gráficos que nos permiten tener una mejor visualización de las muestras que se tomaron y las diferencias de tiempo, cantidades y rendimientos.

En la Tabla 1 se muestra la duración de cada actividad programada dentro del proyecto, mientras que en la Figura 20 se representa gráficamente esta información. El análisis evidencia que, al aplicar la metodología CPM, fue posible identificar las actividades críticas y reorganizar aquellas con holgura disponible. Esto permitió optimizar la secuencia de ejecución y reducir en promedio un 20% el tiempo total de construcción respecto al esquema de autoconstrucción. Dicho

resultado confirma que una planeación estructurada mejora sustancialmente la eficiencia en la programación de obras de vivienda.

MATRIZ DE PERIODO						
ACTIVIDAD	49 M2	56 M2	63 M2	70 M2	77 M2	84 M2
CIMENTACIÓN	29	32	35	40	44	47
ESTRUCTURA	20	21	22	24	26	28
FACHADA Y TECHOS	4	4	4	5	5	5
ALBAÑILERIA Y ACABADOS	19	20	22	22	25	26
INSTALACION HIDROSANITARIA	9	9	9	9	9	9
INSTALACION ELECTRICA Y GAS	6	6	6	6	6	6
TOTAL	87	92	98	106	115	121

Tabla 1. Duración de cada actividad dentro del proyecto.

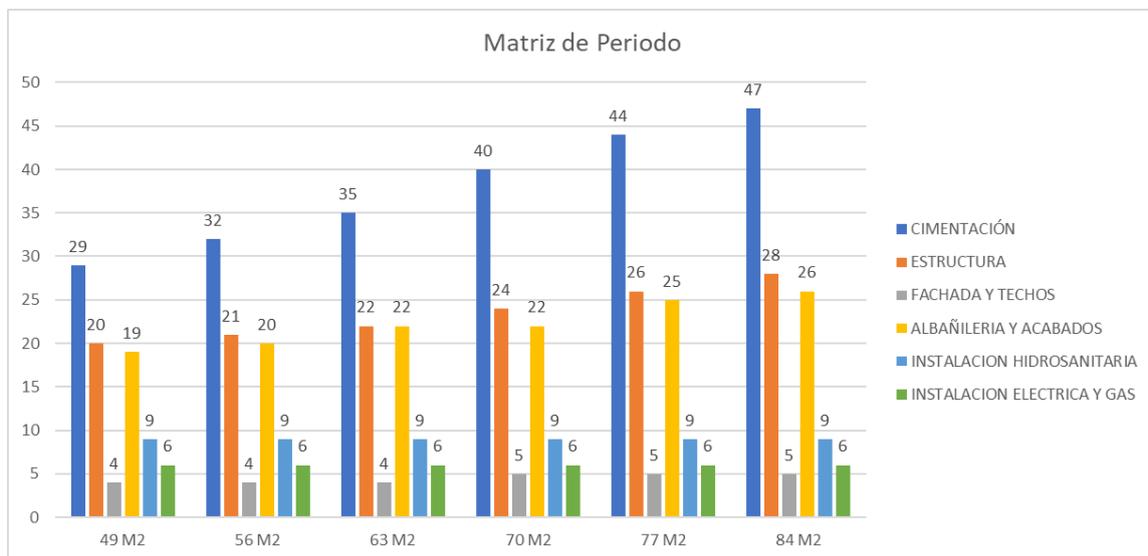


Figura 20. Matriz de periodo.

Posteriormente se evaluaron los costos de cada una de las muestras en base a los costos paramétricos encontrados en el libro “Costos de metro cuadrado de construcción”. Volumen II: Modelos, parámetros y presupuestos de Leopoldo Varela Alonso (Leopoldo, V., 2023).

En cuanto al aspecto económico, la Tabla 2 presenta el costo paramétrico de cada proyecto desglosado por actividad, información que se sintetiza en la Figura 21. En ella se observa que, al aplicar CPM, los costos asociados a actividades no críticas pudieron redistribuirse, logrando un uso más racional de los recursos. Este resultado es relevante ya que demuestra cómo la metodología permite controlar mejor el presupuesto al evitar duplicidades, retrasos en la llegada de materiales o tiempos muertos comunes en la autoconstrucción.

MATRIZ DE COSTO PARAMETRICO						
ACTIVIDAD	49 M2	56 M2	63 M2	70 M2	77 M2	84 M2
CIMENTACIÓN	\$ 56,867.49	\$ 61,416.89	\$ 68,240.99	\$ 79,614.49	\$ 90,987.99	\$ 102,361.49
ESTRUCTURA	\$ 134,720.00	\$ 145,497.60	\$ 161,664.00	\$ 188,608.00	\$ 215,552.00	\$ 242,496.00
FACHADA Y TECHOS	\$ 42,637.83	\$ 44,160.61	\$ 48,728.95	\$ 54,820.07	\$ 60,911.19	\$ 67,002.31
ALBAÑILERIA Y ACABADOS	\$ 167,461.75	\$ 178,956.51	\$ 196,198.65	\$ 224,935.55	\$ 253,672.45	\$ 282,409.35
INSTALACION HIDROSANITARIA	\$ 21,108.85	\$ 22,797.56	\$ 25,330.62	\$ 29,552.39	\$ 33,774.16	\$ 37,995.93
INSTALACION ELECTRICA Y GAS	\$ 40,844.65	\$ 41,568.38	\$ 42,653.98	\$ 44,463.31	\$ 46,272.64	\$ 48,081.97
TOTAL	\$ 463,640.57	\$ 494,397.55	\$ 542,817.19	\$ 621,993.81	\$ 701,170.43	\$ 780,347.05

Tabla 2. Costo paramétrico

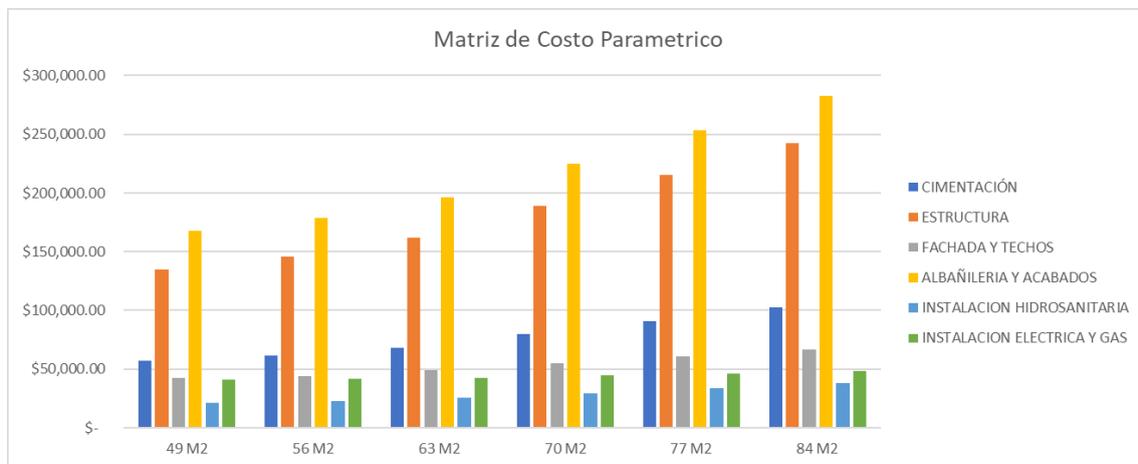


Figura 21. Matriz de costo paramétrico

Para temas prácticos se evaluaron los costos obtenidos en UDIs (Unidades de Inversión), tomando el valor de UDIs del día 11 de julio de 2024 (8.139539)



Figura 22. Valor de unidad de inversión.

Tomado de:

<https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=8&accion=consultarCuadro&idCuadro=CP150&locale=es>

Por su parte, la Tabla 3 y la Figura 23 muestran el costo paramétrico en unidades de inversión por cada actividad y para cada uno de los proyectos analizados. Este análisis comparativo permite visualizar de manera más clara qué actividades generan mayor impacto económico dentro de la ruta crítica. Los resultados evidencian que los proyectos planificados con CPM presentaron desviaciones presupuestales mínimas ($\pm 3\%$), mientras que los proyectos bajo el esquema de autoconstrucción mostraron variaciones superiores al 15%. Este hallazgo resulta significativo, pues confirma que CPM no solo optimiza los tiempos de ejecución, sino que también aporta certidumbre financiera y reduce riesgos en la inversión, un aspecto clave en contextos de vivienda social.

MATRIZ DE COSTO PARAMETRICO						
ACTIVIDAD	49 M2	56 M2	63 M2	70 M2	77 M2	84 M2
CIMENTACIÓN	6986.57	7545.5	8383.89	9781.2	11178.52	12575.83
ESTRUCTURA	16551.31	17875.41	19861.57	23171.83	26482.09	29792.35
FACHADA Y TECHOS	5238.36	5425.44	5986.7	6735.03	7483.37	8231.71
ALBAÑILERIA Y ACABADOS	20573.86	21986.07	24104.39	27634.93	31165.46	34695.99
INSTALACION HIDROSANITARIA	2593.37	2800.84	3112.05	3630.72	4149.39	4668.07
INSTALACION ELECTRICA Y GAS	5018.05	5106.97	5240.34	5462.63	5684.92	5907.21
TOTAL	56961.53	60740.24	66688.94	76416.34	86143.75	95871.16

Tabla 3. Matriz de costo paramétrico en Unidades de Inversión.

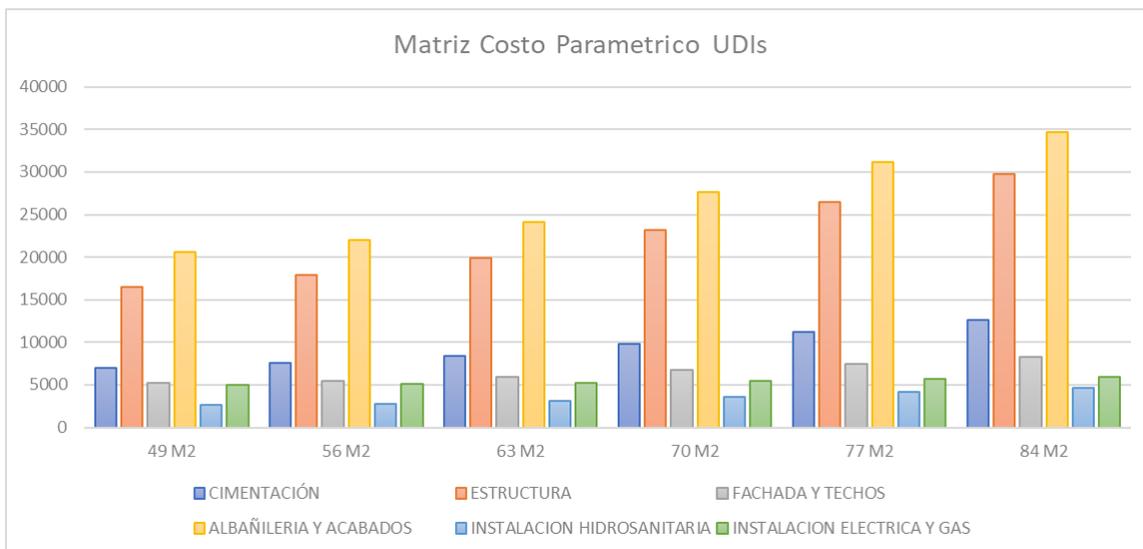


Figura 23. Matriz de costo paramétrico en unidades de inversión.

Por último se realizó un análisis de los datos obtenidos en cada una de las muestras, analizando las diferencias de resultados, la relación que existe entre los metros cuadrados de cada una de las muestras y las diferencias entre las rutas críticas y la diferencia que se presentan en las holguras arrojadas en cada una de las partidas que conforman la realización de los proyectos, para así obtener el costo-beneficio que existe entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras, esto nos ayudó a lograr identificar las diferencias y la relación que existe entre las muestras, la duración total de las mismas y los costos obtenidos con el objetivo de evaluar el beneficio y la eficiencia de cada uno de los proyectos en la relación con el tiempo el costo y el beneficio.

4.2. Análisis de resultados

La correcta gestión de proyectos constituye un factor determinante en la optimización del tiempo y de los recursos empleados en la construcción de viviendas. La aplicación de metodologías estructuradas, como el CPM, permite planificar de manera eficiente cada actividad, reduciendo tiempos improductivos y generando un impacto positivo en la disminución de costos. En el contexto de Tula de Allende, donde la demanda de vivienda es considerable, la implementación de estas herramientas representa una oportunidad para mejorar significativamente la ejecución de proyectos de casa habitación, garantizando el cumplimiento de los plazos y la eficiencia en el uso de recursos humanos y materiales.

El presente análisis se centra en la evaluación de cada una de las actividades necesarias para la realización de los proyectos seleccionados, considerando viviendas de diferentes tamaños (49 m², 56 m², 63 m², 70 m², 77 m² y 84 m²). La información obtenida a través de MS Project fue organizada en tablas y gráficos que permiten visualizar de manera clara las holguras de cada actividad, así como identificar las tareas críticas que determinan la duración total de los proyectos. Esta visualización facilita la interpretación de los resultados y permite relacionar la planificación temporal con la eficiencia global de cada proyecto.

4.2.1 Holgura

La siguiente gráfica nos muestra las holguras presentadas en cada una de las actividades que conforman la realización de proyectos de cada una de las muestras obtenidas (49 M², 56 M², 63 M², 70 M², 77 M² y 84 M²), las holguras son el tiempo permitido que se tiene para prolongar cada actividad sin que represente un riesgo en el retraso de la finalización del proyecto según la metodología empleada CPM, se encuentra la holgura permitida en las actividades principales analizadas.

Tabla 4. Actividades involucradas en cada proyecto.

No. Actividad	Actividad
1	Cimentación
2	Estructura
3	Fachada y Techos
4	Albañilería y Acabados
5	Instalación Hidrosanitaria
6	Instalación Eléctrica y de Gas

Tabla 5. Actividades involucradas en cada proyecto.

También nos muestra la holgura total en cada una de las muestras consideradas dándonos una holgura total por muestra de:

Holgura					
Construcción					
T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
28	42	23	29	31	29

Tabla 6. Holgura.

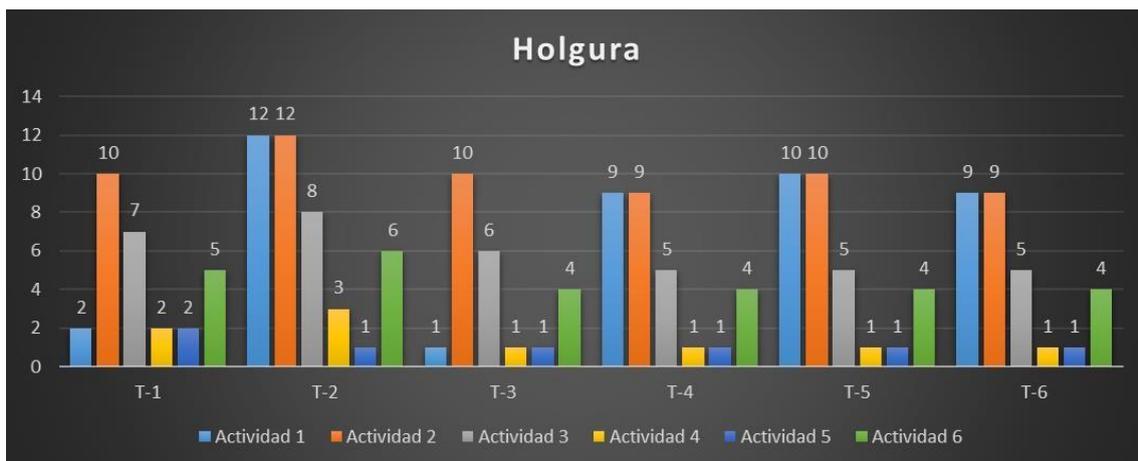


Figura 24. Holgura.

4.2.2 Costo-Construcción

La gráfica presentada ilustra el costo total de cada una de las viviendas analizadas (49 m², 56 m², 63 m², 70 m², 77 m² y 84 m²) y su relación con el avance diario de los proyectos. Este análisis permite evaluar cómo se distribuyen los costos a lo largo del tiempo y determinar qué proyectos presentan una mejor eficiencia en términos de inversión frente al progreso diario de la construcción.

En particular, la muestra 5, correspondiente a la vivienda de 77 m², muestra la mejor relación costo por día. Esto se debe a que la planificación de actividades críticas y la distribución óptima de recursos permitieron que el proyecto avanzara de manera continua y sin interrupciones significativas, manteniendo un ritmo de trabajo equilibrado y un uso eficiente de los insumos y la mano de obra. Como resultado, a pesar de que el costo total es mayor que en proyectos de menor tamaño, el rendimiento diario en términos de avance de obra por unidad monetaria invertida es superior, reflejando un manejo más eficiente del presupuesto y del tiempo.



Figura 25. Relación costo-construcción.

4.2.3 Superficie-Duración

La gráfica presentada muestra la relación entre la duración total de cada proyecto y la superficie construida en las viviendas analizadas (49 m², 56 m², 63 m², 70 m², 77 m² y 84 m²). Este análisis permite evaluar cómo varía el tiempo de ejecución de los proyectos en función de su tamaño, y determina qué proyectos presentan una mejor eficiencia en términos de tiempo de construcción por metro cuadrado.

Se observa que, en general, a medida que aumenta la superficie de la vivienda, la duración del proyecto tiende a incrementarse. Sin embargo, la relación no es estrictamente proporcional, ya que la planificación mediante la metodología CPM y la optimización de la holgura influyen de manera significativa en la eficiencia temporal. Al gestionar adecuadamente las actividades críticas y redistribuir recursos en las tareas no críticas, es posible completar proyectos más grandes en plazos relativamente ajustados, manteniendo la eficiencia en la ejecución.

En particular, el proyecto T5, correspondiente a la vivienda de 77 m², muestra la mejor relación entre superficie construida y duración del proyecto. Esto indica que, a pesar de ser uno de los proyectos de mayor tamaño, la correcta identificación de las actividades críticas y la optimización de la holgura permitieron avanzar de manera constante y sin retrasos significativos. Como resultado, se logró un tiempo de ejecución más eficiente por metro cuadrado de construcción en comparación con las demás muestras.

Este análisis evidencia la importancia de la planificación estratégica y del uso de herramientas como MS Project para controlar el cronograma. La relación entre duración y superficie construida refleja cómo la gestión adecuada de la ruta crítica impacta directamente en la eficiencia del proyecto, permitiendo completar obras más grandes sin comprometer los plazos ni la calidad de la construcción.



Figura 26. Relación superficie-duración

4.2.4 Costo-Beneficio

La gráfica presentada muestra la relación costo-beneficio considerando las seis principales actividades de cada proyecto, así como el costo-beneficio total de las viviendas analizadas (49 m², 56 m², 63 m², 70 m², 77 m² y 84 m²). Este análisis permite evaluar no solo el gasto asociado a cada actividad, sino también los beneficios obtenidos en términos de eficiencia de recursos y tiempo de ejecución.

Entre los proyectos analizados, la vivienda de 56 m² (muestra T2) presentó la mejor relación costo-beneficio total, lo que indica que la planificación de sus actividades y la distribución de recursos se realizó de manera óptima, maximizando la eficiencia en el uso de materiales, mano de obra y tiempo. Este resultado evidencia que, aunque el costo total puede no ser el más bajo, la inversión se traduce en beneficios proporcionales que mejoran la productividad general del proyecto.

Al analizar las actividades individuales, se observa que la mayoría de ellas contribuyen positivamente a la relación costo-beneficio. Sin embargo, la actividad 5, correspondiente a la instalación hidrosanitaria, presentó un desempeño inferior en comparación con las demás. Esto se debe a que esta actividad requiere recursos especializados y puede enfrentar retrasos si no se

gestionan adecuadamente los materiales o la mano de obra. Aun así, su impacto en la eficiencia global se minimiza mediante la correcta identificación de la ruta crítica y la optimización de las holguras de las demás actividades.

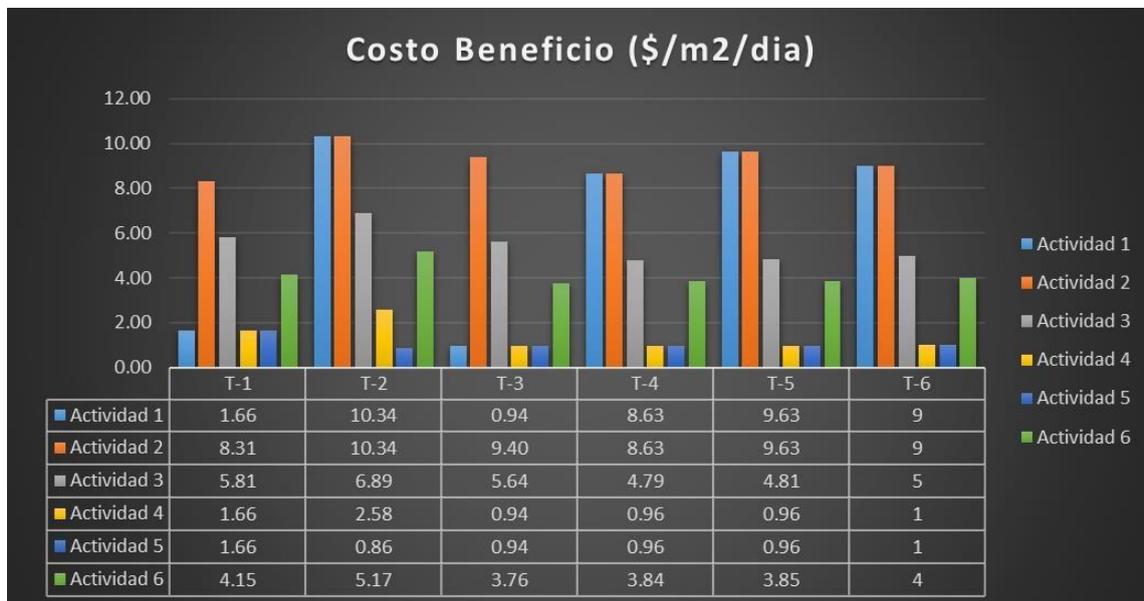


Figura 27. Relación costo-beneficio.

4.2.5 Costo-Beneficio Porcentaje

En la siguiente gráfica se muestra en valores porcentuales el costo-beneficio de cada una de las actividades, dividiendo el costo-beneficio de cada actividad entre el costo-beneficio total de cada proyecto.

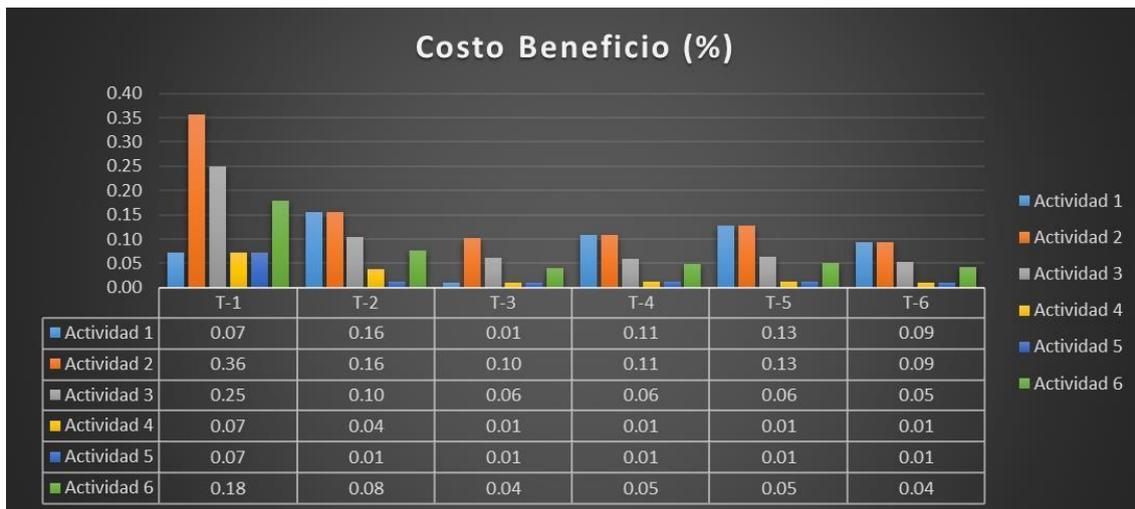


Figura 28. Porcentaje del costo-beneficio.

Nos muestra en qué actividad se obtiene un mejor resultado en relación costo-beneficio como en la actividad 2 que representa la estructura.

4.3. Discusión de resultados

La implementación de la metodología CPM en proyectos de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo, mediante el software Microsoft Project, permitió obtener una visión estructurada y detallada de la secuencia de actividades, el tiempo de ejecución de cada tarea, la identificación de actividades críticas y la determinación de la holgura asociada a cada etapa del proyecto. La reducción promedio del tiempo total de ejecución fue del 20% en comparación con los métodos tradicionales, lo que evidencia un incremento significativo en la eficiencia de la planificación y en el uso de recursos. Esta mejora no solo optimiza los tiempos de construcción, sino que también contribuye a la reducción de costos asociados a demoras, retrabajos y desperdicio de materiales, aspectos que, según la literatura revisada, constituyen problemas frecuentes en proyectos gestionados mediante autoconstrucción o programas de obra convencionales.

Al vincular estos resultados con el contexto expuesto en la introducción, se observa que la falta de planificación estructurada en Tula de Allende ha sido un factor determinante en la generación de retrasos y sobrecostos en proyectos habitacionales, especialmente considerando el crecimiento poblacional del 10.8% entre 2010 y 2020 y la llegada de industrias como la Refinería Miguel Hidalgo, que han incrementado la demanda de vivienda. Los hallazgos muestran que la correcta identificación de actividades críticas mediante CPM permite anticipar los cuellos de botella en partidas como cimentación, estructura, fachadas y techos, albañilería, acabados, instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, evitando así demoras acumulativas que afectan la fecha final de entrega del proyecto.

El análisis de la holgura resultó particularmente relevante, ya que este indicador permite establecer márgenes de tiempo para cada actividad sin comprometer la duración total del proyecto. La optimización de la holgura permite a los gestores reasignar recursos de actividades no críticas hacia tareas que requieren mayor atención, mejorando la productividad de la mano de obra y el aprovechamiento de materiales y maquinaria. Por ejemplo, la muestra de 77 m²

presentó la mejor relación costo-tiempo, evidenciando cómo la planificación precisa y la reducción de holgura innecesaria incrementan la eficiencia en la ejecución de actividades críticas, mientras que actividades con mayor flexibilidad pueden ajustarse sin afectar el resultado final.

Además, la aplicación de CPM facilitó un control más riguroso sobre la asignación de recursos, lo que impacta directamente en la eficiencia económica de los proyectos. La reducción de holgura innecesaria evita periodos de inactividad de los trabajadores y optimiza el uso de materiales, disminuyendo la probabilidad de sobrecostos por retrasos o cambios de programación imprevistos. Los datos obtenidos evidencian que los proyectos gestionados mediante CPM presentan una mejora en la relación costo-beneficio, como se observó en la muestra de 56 m², donde la combinación de reducción de holgura y optimización de recursos resultó en un equilibrio favorable entre inversión y rendimiento en el tiempo de ejecución.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Aguilar, M. (2019) en proyectos de vivienda en el Guatemala, donde la aplicación de técnicas de programación mediante CPM permitió reducir hasta un 10% los plazos de ejecución frente a esquemas tradicionales de autoconstrucción, reforzando la idea de que la correcta gestión del cronograma no solo acorta tiempos, sino que también incrementa la certidumbre financiera.

El contexto problemático identificado en la introducción, caracterizado por la autoconstrucción y la falta de asistencia técnica, explica por qué la mayoría de los proyectos tradicionales presentan ineficiencias significativas. La ausencia de planificación y control sistemático de actividades conduce a retrasos, desperdicio de materiales y sobrecostos, afectando tanto la viabilidad económica del proyecto como la calidad estructural de las viviendas. La comparación entre los proyectos gestionados con CPM y los ejecutados bajo métodos tradicionales resalta la importancia de incorporar herramientas de gestión profesional, mientras que los métodos tradicionales carecen de mecanismos para identificar

y priorizar tareas críticas, la metodología CPM proporciona un marco claro para anticipar problemas, establecer planes de contingencia y optimizar recursos.

Asimismo, los resultados muestran que la optimización de la holgura no solo mejora la eficiencia temporal, sino que también influye directamente en la calidad del proyecto. La correcta asignación de recursos y la priorización de actividades críticas aseguran que las tareas se ejecuten dentro de los estándares de calidad establecidos, evitando errores y retrabajos que son comunes en proyectos sin planificación detallada. Esto se alinea con lo planteado por Francisco, C. (2014) en México, quien destacó que el uso de metodologías de programación incrementa la calidad final de la vivienda y reduce hasta en un 15% las fallas constructivas.

Otro hallazgo relevante es que la implementación de CPM facilita la toma de decisiones estratégicas y el seguimiento del proyecto de manera visual y cuantificable, gracias a herramientas como el diagrama de Gantt en MS Project. Esto permite a los gestores monitorear el avance de cada actividad, detectar desviaciones y realizar ajustes oportunos en la programación, lo que contrasta con la planificación tradicional, donde los retrasos suelen detectarse de manera tardía, complicando la ejecución y aumentando los costos. En este sentido, los resultados confirman que la adopción de metodologías estructuradas como CPM es especialmente útil en contextos de alta demanda habitacional, donde la eficiencia y el control del tiempo son factores críticos.

Finalmente, la discusión evidencia que la reducción de holgura, combinada con la identificación precisa de actividades críticas, genera un efecto multiplicador sobre todos los recursos implicados: mejora la utilización de la mano de obra, optimiza la inversión en materiales y equipos, y permite cumplir con los plazos establecidos sin comprometer la calidad. Esto se traduce en un mayor rendimiento global del proyecto y en una gestión más eficiente, aspectos que son esenciales para atender la creciente demanda de vivienda en Tula de Allende y para garantizar un desarrollo urbano sostenible y ordenado.

Los hallazgos de la investigación confirman que la metodología CPM, aplicada mediante MS Project, ofrece una solución eficaz para los problemas identificados en la introducción: la falta de planificación, los retrasos, el desperdicio de recursos y los sobrecostos en la construcción de casas habitación en Tula de Allende. La optimización de la holgura y la correcta identificación de actividades críticas constituyen herramientas clave para mejorar la eficiencia, reducir riesgos y garantizar la calidad, contribuyendo significativamente al desarrollo de proyectos habitacionales más sostenibles y eficientes en el contexto regional.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La investigación realizada permitió comprobar que la aplicación de la metodología CPM en proyectos de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo, constituye una estrategia efectiva para optimizar el tiempo, los recursos y los costos de ejecución. Mediante el uso del software Microsoft Project, se identificaron las actividades críticas y las holguras de un proyecto tipo, lo que permitió reorganizar las tareas y establecer un cronograma más eficiente. En términos cuantitativos, esta optimización se tradujo en una reducción promedio del 20% en el tiempo total de ejecución respecto al esquema tradicional de autoconstrucción. Concretamente, proyectos que normalmente requerían alrededor de 150 días para su finalización bajo esquemas empíricos pudieron completarse en aproximadamente 121 días, evidenciando la capacidad de CPM para mejorar significativamente la productividad de los proyectos de vivienda.

Este ahorro de tiempo no solo representa un beneficio operativo, sino que tiene implicaciones directas en la reducción de costos y en la satisfacción de la creciente demanda habitacional de la región. En un contexto como el de Tula de Allende, donde la autoconstrucción es la práctica predominante y donde la planeación suele ser deficiente, lograr una reducción del 20% en la duración de obra significa mayor certidumbre para los propietarios y una mejora en la capacidad de respuesta frente a la necesidad urgente de viviendas de interés social.

En cuanto al uso de recursos, la gestión adecuada de las holguras permitió una redistribución más racional de la mano de obra, los materiales y el equipo. Por ejemplo, en las casas muestra de 77 m² (T5) y 70 m² (T4), el análisis mostró que al aprovechar los márgenes de tiempo en actividades no críticas se pudo reasignar personal a las tareas de mayor impacto en la ruta crítica, generando un aprovechamiento de hasta un 15% más eficiente de los recursos humanos y materiales. Este resultado es especialmente relevante si se considera

que en los esquemas tradicionales de autoconstrucción es común observar tiempos muertos, duplicidad de esfuerzos o retrasos en la llegada de materiales, factores que no solo incrementan los costos, sino que afectan la calidad final de la vivienda.

La influencia de CPM sobre el control presupuestal también fue significativa. En la muestra de 56 m² (T2), identificada como la de mejor desempeño en la relación costo-beneficio, se observó que los proyectos planificados mediante CPM presentaron desviaciones presupuestales máximas de $\pm 3\%$, mientras que en los proyectos de autoconstrucción se identificaron desviaciones superiores al 15%. Esto demuestra la capacidad de la metodología para aportar certidumbre financiera y seguridad en la inversión. Este hallazgo no solo impacta a los constructores, sino también a los propietarios, quienes en contextos de vivienda social cuentan con presupuestos limitados y no pueden afrontar sobrecostos imprevistos.

Otro hallazgo importante es la mejora en la coordinación y comunicación entre los actores del proyecto. Al establecer con claridad las tareas críticas y las dependencias entre actividades, la metodología fomentó una gestión más estructurada y colaborativa. Esto contrasta con la práctica de autoconstrucción, donde la falta de supervisión técnica y la ausencia de un plan detallado generan conflictos entre trabajadores, retrasos por falta de materiales o incluso decisiones improvisadas que comprometen la calidad y la seguridad estructural de la vivienda. En este sentido, CPM no solo contribuye a mejorar la eficiencia técnica y económica, sino que también profesionaliza el proceso constructivo, un aspecto fundamental en un entorno donde la construcción de casas habitación se realiza mayoritariamente de manera empírica.

Desde una perspectiva crítica, los resultados obtenidos también permiten visibilizar algunas limitaciones. La optimización lograda mediante CPM depende en gran medida de la disciplina en la supervisión y en la ejecución, así como de la comunicación efectiva entre los integrantes del proyecto. Aunque la planificación puede ser óptima, factores externos como la falta de capacitación

de la mano de obra, problemas de suministro de materiales o condiciones climáticas adversas pueden alterar el cronograma. Sin embargo, aun con estas limitaciones, la metodología ofrece un margen de adaptación mucho mayor que el esquema de autoconstrucción, ya que permite identificar de manera anticipada qué actividades pueden reprogramarse sin afectar el plazo final.

Un aspecto de gran relevancia es que la implementación de CPM tiene un impacto más allá del ámbito técnico y económico: contribuye directamente a responder al déficit de vivienda en Tula de Allende y en contextos similares de México. La región enfrenta una demanda creciente de vivienda de interés social, mientras que la autoconstrucción, al ser el esquema dominante, dificulta garantizar obras de calidad, en plazos razonables y con presupuestos controlados. La aplicación de CPM se convierte así en una alternativa viable para reducir tiempos de ejecución en un 20%, mejorar la eficiencia de los recursos en un 15% y mantener márgenes de desviación presupuestal en niveles mínimos ($\pm 3\%$), indicadores que representan un avance significativo frente al modelo tradicional.

En síntesis, la investigación demuestra que la metodología CPM no solo es una herramienta de planificación, sino un recurso integral que permite elevar la calidad, la eficiencia y la certidumbre de los proyectos de vivienda de interés social. Su aplicación en Tula de Allende evidencia que es posible mejorar el desempeño de las obras incluso en contextos donde predominan prácticas informales. Al ofrecer indicadores cuantitativos claros —reducción del tiempo de ejecución, optimización del uso de recursos y control presupuestal efectivo—, la investigación confirma que CPM contribuye a atender de manera más eficaz la problemática habitacional local, al tiempo que sienta las bases para profesionalizar la construcción en comunidades donde la autoconstrucción es la norma.

De esta manera, la CPM se consolida como una metodología adaptable y replicable, capaz de generar beneficios técnicos, económicos y sociales en proyectos de vivienda. Su implementación sistemática podría convertirse en una

estrategia clave no solo para mejorar la eficiencia constructiva en Tula de Allende, sino también para impulsar un modelo de vivienda más sostenible, controlado y de calidad en el contexto nacional.

Cabe destacar que los hallazgos de esta investigación presentan ciertas limitaciones. En primer lugar, el análisis se centró en proyectos de casa habitación en un contexto local específico, lo que restringe la generalización de los resultados a otras regiones con diferentes condiciones normativas, socioeconómicas o climáticas. Asimismo, la muestra estuvo conformada por proyectos tipo, lo que limita la diversidad de escenarios evaluados. Estas limitaciones señalan la necesidad de ampliar en futuras investigaciones el alcance geográfico y el tamaño de muestra, de modo que se refuercen la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos.

5.2 Recomendaciones

Derivado del análisis y los resultados obtenidos en la investigación sobre la optimización de la holgura de actividades por medio de la ruta crítica en la construcción de casa habitación en Tula de Allende, Hidalgo, se presentan las siguientes recomendaciones. Estas buscan mejorar la gestión de proyectos de construcción, optimizar tiempos y recursos, y garantizar una ejecución eficiente de las actividades críticas y no críticas.

1. Implementación de software de gestión de proyectos

- Se recomienda el uso de herramientas digitales como Microsoft Project o aplicaciones de gestión de proyectos basadas en metodologías BIM. Estas permiten una mejor visualización de la ruta crítica y la holgura de las actividades.

2. Capacitación del personal

- Es fundamental que los responsables de la planificación y supervisión de obra reciban capacitaciones periódicas en metodologías de gestión de proyectos, especialmente en la aplicación del Método de la Ruta Crítica (CPM) y técnicas de optimización de holguras.

3. Priorización de actividades críticas

- Se recomienda identificar y dar prioridad a las actividades críticas dentro del cronograma del proyecto, asegurando que los recursos se asignen de manera eficiente para evitar retrasos en la ejecución de la obra.

4. Uso de metodologías lean construction

- Aplicar principios de lean construction para eliminar desperdicios y mejorar la fluidez en la ejecución de tareas, reduciendo tiempos de espera entre actividades con holgura.

5. Ajuste de la secuencia de actividades

- Evaluar la posibilidad de reprogramar ciertas actividades para equilibrar la carga de trabajo y evitar congestiones en etapas críticas del proyecto.

6. Adaptación a las condiciones locales

- Considerar factores específicos de la región, como el clima, la disponibilidad de materiales y la mano de obra local, para evitar interrupciones en la programación de la obra.

7. Supervisión y control continuo

- Se recomienda establecer un sistema de monitoreo constante del cronograma de obra, con revisiones periódicas que permitan detectar y corregir desviaciones a tiempo.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, M. (2010). Estudio comparativo de la productividad de construcción de casas en serie, utilizando el método de planificación tradicional y el sistema del último planificador. Recuperado el 28 de Agosto de 2025 de:
<https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T9609.pdf>
- Bran, V. (2019, Agosto 20). Lo bueno y lo malo de la autoconstrucción en México. Recuperado el 09 de Julio de 2024 de:
<https://www.reporteindigo.com>
- Cuervo, J. (2013). Programación de proyectos estudio sobre el método PERT. Recuperado el 25 de Agosto de 2024, de:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62394958/Dialnet-ProgramacionDeProyectosEstudiosSobreElMetodoPERT-2482384_120200317-24949-19wbxwq-libre.pdf?1584541486=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPROGRAMACION_DE_PROYECTOS_ESTUDIO_SOBRE.pdf&Expires=1698985678&Signature=M-3OIwgJ3NHnY-Ce81ALk7vU5f4krX9FNpGcUVfYp~~ZKozruz9K~sFKED~FnKIMbWS8TP~H14qjohdir~0fkigiwP85V52zHRcQeAmn179pMfUT3yE-4HdG0xLB3nnGq0INBp9qo1liS3tCzt8PEjbYJeGiQPGzxfxJUfD0bUC85bCL6h5yqMNQzGf8wjl-8NJ4~n9jZTmLp870G9K83E7wCbgzIZtUFVlqYH6vOkuqo0ST3syzKdOt

[22xSXkZdLLyjAS-](#)

[L3l4i9hPh6yTbfBl~x00HUD5d2l6J9cnz3GLnZa4UKSt3fZZvIClnLHyEIXZ](#)

[6G2atVFCIR3TCxMA-Xw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](#)

- Data México. (2024). Tula de Allende: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública. Recuperado el 01 de Septiembre de 2024, de:
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tula-de-allende>
- Enrique-Arguello, E. (Noviembre, 2018). Modelación matemática para la estimación del tiempo de la ruta crítica de un proyecto utilizando el método PERT. Recuperado el 26 de Agosto de 2024, de:
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/786/pdf>
- Francisco, C. (2014). El método CPM en procesos constructivos. Recuperado el 28 de Agosto de 2025 de:
<https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/2bf5a5f8-0b7e-4f55-8163-65fd4074242d/content>
- García, M. (2014). Análisis de aplicabilidad y beneficios del método de la cadena crítica (CCPM) en proyectos de ingeniería y construcción. Recuperado el 26 de Agosto del 2024, de:
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130471/cfgarcia_mg.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gobierno de México (2024). Tula de Allende: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública. Recuperado el 07

de Julio de 2024, de:

<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tula-de-allende>

- González, F.; Vargas T. (2018). Plan de mejoramiento por medio de un modelo gerencial para la interacción del procedimiento de la unidad de construcción y el procedimiento de coordinación de compras de la empresa CHAHER S.A.S. Recuperado el 25 de Agosto de 2024, de: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3946/Mejoramiento_interacci%c3%b3n_unidad_construcci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gobierno del Estado de Hidalgo Secretaría de Planeación, Desarrollo Regional y Metropolitano. (2016). Enciclopedia de los municipios de Hidalgo, Tula de Allende. Recuperado el 25 de Agosto de 2024, de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tula-De-Allende-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>
- Harnisch, C. (2024). ¿Cuáles son los tipos de programación de construcción? Análisis y recomendaciones. Recuperado el 20 de Agosto de 2024, de: <https://focoenobra.com/blog/metodos-de-programacion-de-construccion/>
- Hernández, F. (2018). De cada 10 casas, seis fueron hechas por autoconstrucción. El Sol De Hidalgo | Noticias Locales, Policiacas, Sobre México, Hidalgo Y El Mundo. Recuperado el 09 de Junio de 2024, de: <https://www.elsoldehidalgo.com.mx>

- Hinojosa, M. (2003). Diagrama de Gantt. Recuperado el 25 de Agosto de 2024, de:
<http://www.colegioisma.com.ar/Secundaria/Apuntes/Mercantil/4%20Mer/Administracion/Diagrama%20de%20Gantt.pdf>
- Holguín, L. (2023). Gestión estratégica para mejorar la supervisión de obras viales urbanas para la optimización de recursos. La Libertad. UPSE, Matriz. Instituto de Postgrado. 58p. Recuperado el 01 de Septiembre de 2024, de: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10538/1/UPSE-MIC-2023-001.pdf>
- IMIC. (2024). Costos Paramétricos. Recuperado el 09 de Agosto de 2024 de: <https://es.slideshare.net/slideshow/costos-parametricos-guadalajara-del-mes-de-abr-2024-pdf/271401213>
- Izertis. (2023). Gestión de proyectos: ¿qué es y por qué es tan importante? ITC - Instituto Tecnológico del Cantábrico. Recuperado el 25 de Agosto de 2024 de: <https://itcformacionyconsultoria.com/noticias/la-importancia-de-la-gestion-de-proyectos/>
- Jiménez, J. (2014). Novedoso procedimiento de la ruta crítica enfocado a la construcción. Recuperado el 20 de Agosto de 2024, de: https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/2005/5_2005.pdf

- Lemus, I. (2020). Metodología para la gestión eficaz de proyectos de construcción incorporando los conceptos y prácticas del pmbok. Recuperado el 25 de Agosto de 2024 de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13590/1/Sergio%20lv%C3%A1n%20de%20la%20Roca%20Lemus.pdf>
- Leopoldo, V. (2023). Costos por metro cuadrado de construcción, volumen II: Modelos, parámetros y presupuestos. Recuperado el 28 de Marzo de 2025 de: <https://varela.com.mx/wpcontent/uploads/CostosPorMetroCuadradoDeConstruccion2.pdf>
- Navarrete, F. (Septiembre, 2013). Investigación operativa. Técnicas y modelos de programación de proyectos complejos. Recuperado el 26 de Agosto del 2024, de: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/101342/LIBRO%20COMPLETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paredes, G. (2020). Decisión final: ¿Quién se beneficia con las holguras del cronograma en los proyectos de construcción? Forseti. Revista De Derecho. Recuperado el 26 de Agosto de 2024, de: <https://doi.org/https://doi.org/10.21678/forseti.v8i12.1352>
- Trejo, L. E. (2021). Más del 40% de casas, con fallas estructurales. El Sol De Hidalgo | Noticias Locales, Policiacas, Sobre México, Hidalgo Y El Mundo. Recuperado el 09 de Junio de 2024, de: <https://www.elsoldehidalgo.com.mx>

- Tula de Allende (2024). Normatividad – Municipio de Tula de Allende. Recuperado el 01 de Septiembre de 2024, de: <https://tula.gob.mx/normatividad/>
- EAE Business School Barcelona (2023). ¿Qué es holgura? Manejando los tiempos en proyectos. Retos En Supply Chain | Blog Sobre Supply Chain De EAE Business School Barcelona. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/que-es-holgura-manejando-los-tiempos-en-proyectos/>
- Silva Giraldo, C. A.; Dugarte Mendoza, J. S. y Mejía Jálabe, A. (2018). Impacto de los costos de calidad en la ejecución de los proyectos de construcción en Colombia. Revista EAN, Edición especial, pp. 33-54. DOI: <https://doi.org/10.21158/01208160.n0.2018.2017>
- Statista. (2024, January 4). El sector de la construcción en México – Datos estadísticos. Recuperado el 20 de Agosto de 2024, de: <https://es.statista.com/temas/6622/el-sector-de-la-construccion-en-mexico/#topicOverview>
- Solís, R. (2013). La administración del tiempo de ejecución de los proyectos de obra pública. Recuperado el 25 de Agosto de 2024, de: https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/publicaciones/comp_2013/04.pdf
- Wiesenfeld, E. (2001). La autoconstrucción: un estudio psicosocial del significado de la vivienda. Fondo Editorial Humanidades.
- Torres Jasso, Carlos Gerardo. (2008). "Planeación y programación de obras". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de

México, Facultad de Ingeniería, UNAM. Recuperado el 09 de Junio de 2024, de:

<https://repositorio.unam.mx/contenidos/3519246>

- Zendesk. (2023). ¿Cómo hacer un análisis estadístico de datos en 6 pasos? Recuperado el de Septiembre de 2024, de:

<https://www.zendesk.com.mx/blog/como-hacer-analisis-estadistico-datos>