



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Licenciatura en Ingeniería Civil

TESIS

"Optimización del recurso tiempo por medio de la Ruta Crítica en la construcción de casa habitación en Tetepango, Hidalgo"

Para obtener el grado de **Ingeniera Civil**

Presentada por:

Geraldine Ángeles Hernández

Integrantes del jurado

Presidente: Dr. Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Secretario: Dr. Eber Pérez Isidro

Vocal: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Suplente: Dr. Omar Caballero Garatachea

Fecha: Octubre 2025



Mineral de la Reforma, Hgo., a 29 de septiembre de 2025

Número de control: ICBI-D/1710/2025
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 **Geraldine Ángeles Hernández**, quien presenta el trabajo de titulación **“Optimización del recurso tiempo por medio de la ruta crítica en la construcción de casa habitación en Tetepango, 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: Dr. Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Secretario: Dr. Eber Pérez Isidro

Vocal: Dra. Liliana Guadalupe Lizárraga Mendiola

Suplente: 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

Índice de imágenes.....	5
Índice de tablas.....	7
Agradecimientos	8
Glosario de términos.....	9
Resumen	11
Palabras clave	11
Abstract	12
Keywords.....	12
Introducción.	13
Capítulo 1: Planteamiento del problema.	17
1.1. Antecedentes.	17
1.2. Problemática.	18
1.3. Justificación.....	19
Pregunta de investigación.....	20
Hipótesis.	20
1.4. Objetivo general.	20
1.4.1 Objetivos específicos.	21
1.5. Descripción del área de estudio.	21
1.5.1 Ubicación geográfica.	21
1.5.2 Características geográficas del área.	23
1.5.3 Contexto socioeconómico.	24
1.5.4 Características de la vivienda típica en la región.....	27
1.5.5 Estilos arquitectónicos comunes en la construcción de casas habitación.	28
1.5.6 Materiales de construcción predominantemente utilizados en la región.	30
1.5.7 Métodos tradicionales de construcción.	32
1.5.8 Condiciones del mercado de la construcción.	33
1.5.9 Disponibilidad de materiales de construcción y costos.....	35
1.5.10 Costos promedio de construcción de viviendas en la región.	38

1.5.11 Expectativas y necesidades de la comunidad.	40
1.5.12 Preferencias de la comunidad en cuanto a diseño y materiales de construcción.	41
Capítulo 2: Marco teórico	43
2.1. Revisión de la literatura.	43
2.1.1 Gestión del tiempo en proyectos de construcción.	44
2.1.2 Método de la Ruta Crítica (CPM).	44
2.1.3 Aplicaciones de la Ruta Crítica en la construcción de viviendas.	45
2.1.4 Optimización del tiempo en contextos rurales.	45
2.1.5 Revisión de diferentes métodos para optimizar el tiempo en la construcción.	45
2.1.6 Análisis de los beneficios de optimizar el tiempo y los desafíos que pueden surgir durante su implementación en proyectos de construcción.	52
2.1.7 Identificación de brechas y necesidad de investigación.	56
2.2. Bases teóricas.....	56
2.2.1 Teoría de la programación de proyectos.....	57
2.2.2 Método de la Ruta Crítica (CPM) como herramienta.....	57
2.2.3 Teoría de la gestión de proyectos basada en el tiempo.	58
2.2.4 Aplicación de la CPM en la construcción de viviendas en contextos rurales.	58
2.3. Marco conceptual.	59
2.3.1 Contexto de la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo.....	62
2.4. Discusión sobre cómo la metodología de la Ruta Crítica puede ser adaptada y aplicada.....	62
2.4.1 Identificación de factores geográficos, climáticos, sociales y normativos que pueden influir en la aplicación de la Ruta Crítica en Tetepango.....	64
Capítulo 3: Metodología.....	69
3.1. Diseño de la investigación.	70
3.2. Población y muestra.	71
3.3. Instrumentos de recolección de datos.	72
3.4. Procedimientos.....	73
3.5. Análisis de datos.	75
Capítulo 4: Resultados y discusión.	77
4.1 Resultados.	77
4.1.1 Evaluación de partidas.....	77

4.1.2. Análisis de resultados.	79
4.2. Discusión de resultados.	93
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.....	96
5.1. Conclusiones.....	96
5.2. Recomendaciones.....	99
5.2.1 Recomendaciones para replicar la metodología en contextos similares.....	100
Capítulo 6: Anexos.	101
Bibliografía.....	107

Índice de imágenes

Figura	Título	Página
Figura 1.1	Características principales del Método Lean Construction	13
Figura 1.2	Importancia de la Ruta Crítica	14
Figura 1.3	Principales municipios con los que colinda Tetepango	22
Figura 1.4	Colonia Rojo Gómez, Tetepango Hidalgo	23
Figura 1.5	Centro de Tetepango, Hidalgo	23
Figura 1.6	Presa del Muchacho	24
Figura 1.7	Población en 2020	24
Figura 1.8	Zona agricultora de Tetepango en la localidad Nicolás Bravo	25
Figura 1.9	Servicios y conectividad de las viviendas	26
Figura 1.10	Métodos constructivos actuales	27
Figura 1.11	Viviendas en Tetepango	28
Figura 1.12	Construcciones en Tetepango	28
Figura 1.13	Influencias coloniales	29
Figura 1.14	Estilos coloniales	26
Figura 1.15	Construcciones de adobe en Tetepango	30
Figura 1.16	Construcción de ladrillo en la zona	30
Figura 1.17	Construcción de madera en la zona	31
Figura 1.18	Construcción de lámina en la zona	31
Figura 1.19	Materiales de construcción en la zona	35
Figura 1.20	Variación mensual y anual de materiales que conforman insumos de obras públicas (INEGI)	38
Figura 1.21	Construcción de interés social	38
Figura 1.22	Construcción de nivel medio	39
Figura 1.23	Construcción de nivel alto	39
Figura 2.1	Ejemplo de Ruta Crítica	46
Figura 2.2	Ejemplo de diagrama de Gantt	47
Figura 2.3	Planificación en equipo (Last Planner System)	48

Figura 2.4	Programación concurrente	48
Figura 2.5	Uso de programación BIM	49
Figura 2.6	Cadena de suministro	50
Figura 2.7	Principios Lean Construction	51

Índice de tablas

Tabla	Título	Página
Tabla 1.1	Características de las diferentes construcciones	32
Tabla 2.1	Beneficios de la optimización del tiempo mediante la Ruta Crítica	53
Tabla 4.1	Evaluación de partidas de obra	77
Tabla 4.2	Comparativa de duraciones tradicionales vs CPM	79
Tabla 4.3	Reducción porcentual del tiempo total de obra	81
Tabla 4.4	Análisis de holguras en actividades no críticas	84
Tabla 4.5	Costos asociados a las actividades críticas	85
Tabla 4.6	Resumen comparativo de resultados por tipo de vivienda	91

Agradecimientos

A mi hermano Alfredo, quien ha sido la mayor de mis motivaciones en todo lo que hago. Gracias por inspirarme con tu fortaleza, por recordarme cada día que los sueños se alcanzan con dedicación y esfuerzo. Todo lo logrado lleva siempre un pedacito de ti.

A mis papás, gracias por su amor incondicional, por creer en mí, y por ser el pilar que me sostiene en cada paso.

A mi gran amigo Alan, gracias por acompañarme en este camino y no dejarme sola en este proceso. Tu compañía fue un refugio en cada desafío, y tu amistad, un impulso constante para seguir adelante.

A mis asesores de tesis, les agradezco profundamente por su guía, sus consejos y su paciencia durante este proyecto. Su conocimiento y compromiso hicieron posible que este trabajo se culminara.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

Glosario de términos

1. *Actividad*: Unidad básica de trabajo dentro de un proyecto, con duración y recursos definidos.
2. *Autoconstrucción*: Proceso en el que los propietarios participan directamente en la construcción de sus viviendas, sin la intervención completa de empresas constructoras.
3. *Camino crítico*: Secuencia de actividades que determina la duración total de un proyecto; si una de ellas se retrasa, todo el proyecto se retrasa.
4. *Casa habitación*: Vivienda destinada al uso familiar, generalmente de una o dos plantas, que incluye áreas básicas como sala, cocina, baños y recámaras.
5. *Cimentación*: Parte de la estructura que transmite las cargas de la edificación al terreno, asegurando estabilidad y seguridad.
6. *Costo paramétrico*: Estimación de costos basada en parámetros como superficie, tipo de materiales o número de niveles de la vivienda.
7. *Cronograma*: Representación gráfica del plan de actividades de un proyecto, con su duración, secuencia y fechas de inicio y término.
8. *Duración*: Tiempo necesario para completar una actividad de obra.
9. *Holgura*: Tiempo que puede retrasarse una actividad sin afectar la fecha final del proyecto.
10. *Losa maciza*: Elemento estructural de concreto reforzado que sirve como cubierta o entrepiso en la vivienda.
11. *Mampostería*: Técnica constructiva que utiliza piedras unidas con mortero, muy común en cimentaciones.
12. *Método de la Ruta Crítica (CPM)*: Técnica de planificación que permite identificar actividades críticas y optimizar tiempos en proyectos de construcción.
13. *Microsoft Project*: Software especializado en la programación y control de proyectos, utilizado en esta investigación para calcular la r.

14. *Optimización del tiempo*: Proceso de mejorar la eficiencia de un proyecto reduciendo retrasos y aprovechando al máximo los recursos disponibles.
15. *Planeación de obra*: Proceso de organizar anticipadamente los recursos, tiempos y actividades necesarios para ejecutar una construcción.
16. *Precedencia*: Relación de dependencia entre actividades que indica cuál debe ejecutarse antes de iniciar otra.
17. *Programa de obra*: Documento que establece la secuencia de actividades y los tiempos estimados de ejecución del proyecto.
18. *Red de actividades*: Diagrama que muestra las relaciones de dependencia entre las actividades de un proyecto.

Resumen

Este estudio explora la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM) para optimizar el tiempo en la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo. La construcción en esta región, marcada por altos índices de autoconstrucción, enfrenta desafíos en la gestión de tiempos y recursos para una edificación más eficiente, que aminore los frecuentes retrasos y sobrecostos. La investigación aborda estos problemas mediante la identificación de actividades críticas en seis tipos de construcciones de diferentes tamaños, analizando las holguras de los tiempos a considerar en la ejecución de los conceptos de obra y costos de cada actividad clave.

El estudio se basa en un diseño no experimental, utilizando Microsoft Project para calcular la Ruta Crítica de las actividades en cada proyecto de construcción. Los resultados revelaron que la implementación de la Ruta Crítica reduce el tiempo total de construcción hasta en un 15% en comparación con métodos tradicionales, optimizando el uso de recursos y mejorando la eficiencia en la planificación de cada etapa constructiva. Se concluye que el CPM es una herramienta valiosa para la autoconstrucción, ya que permite una gestión más precisa y ajustada al contexto local, reduciendo el impacto de condiciones externas y optimizando la relación costo-beneficio de cada actividad en el proceso de construcción.

Palabras clave:

Casa habitación, Ruta Crítica, autoconstrucción, metodología, planeación, optimización y holgura.

Abstract

This study explores the application of the Critical Path Method (CPM) to optimize construction time for residential houses in Tetepango, Hidalgo. Construction in this region, characterized by high rates of self-built housing, faces challenges in time and resource management to achieve more efficient building processes that reduce frequent delays and cost overruns. The research addresses these issues by identifying critical activities in six types of constructions of different sizes, analyzing the float times to be considered in the execution of work concepts and the costs of each key activity.

The study employs a non-experimental design, utilizing Microsoft Project to determine the critical path of activities for each construction project. The results revealed that implementing the critical path reduces the total construction time by up to 15% compared to traditional methods, optimizing resource use and improving efficiency in the planning of each construction stage. It is concluded that CPM is a valuable tool for self-construction, as it enables more precise management adapted to the local context, reduces the impact of external conditions, and optimizes the cost-benefit ratio of each activity in the construction process.

Keywords:

House, Critical Path, self-construction, methodology, Planning, optimization and float time.

Introducción.

La gestión efectiva del tiempo en proyectos de construcción constituye un factor determinante para el éxito operativo y económico de las obras. En el contexto global, así como en estudios especializados, se reconoce ampliamente que la optimización temporal juega un papel crucial en la entrega puntual de proyectos y en la minimización de costos adicionales. Esta problemática cobra especial relevancia en la construcción, donde la coordinación precisa de actividades y la secuencia adecuada de tareas son esenciales para cumplir con los plazos comprometidos y satisfacer las expectativas de los clientes.

En los últimos años la mala gestión de tiempo es considerada como la principal causa de fracaso en los proyectos; actualmente existen una variedad de métodos enfocados a la correcta gestión de un proyecto, tal es el caso de Lean Construction (Figura 1.1), BIM o la Ruta Crítica (Flórez Cajacuri, 2020), esta última también conocida como Critical Path Method (CPM) por su nombre en inglés. Actualmente en Latinoamérica, los países que muestran más avances en el uso y estudio de metodologías de planeación son Brasil, Chile, Perú y Colombia (Porras Díaz, 2014) (Figura 1.2).



Figura 1.1 Características principales del Método Lean Construction
LCI México. (2021). Recuperado de <https://lcimexico.org>

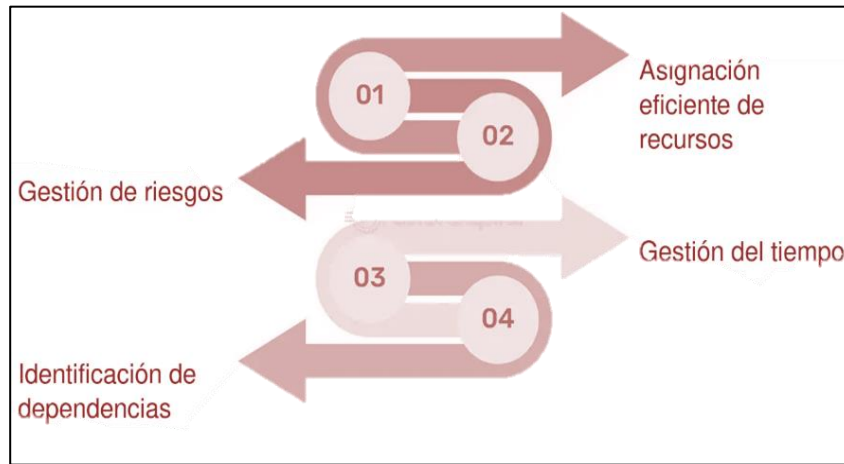


Figura 1.2 Importancia de la Ruta Crítica

FasterCapital. Recuperado de <https://fastercapital.com>

En México, el uso de la metodología de la Ruta Crítica (CPM) no es tan frecuente en comparación con enfoques como Lean Construction o Building Information Modeling (BIM) (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC], 2020), los cuales han adquirido mayor reconocimiento y aplicación en los últimos años. No obstante, la implementación de CPM ha ido en aumento, ya que esta herramienta aporta numerosas ventajas en la planificación de proyectos y la gestión eficiente del tiempo (Marín, 2018).

La revisión bibliográfica revela que la gestión del tiempo en la construcción ha sido abordada desde diversas perspectivas y con variadas herramientas metodológicas. En un contexto internacional, se han explorado técnicas como la Ruta Crítica para identificar las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto y permiten una planificación más eficiente. Además, se han utilizado el método del camino más largo y otras metodologías de programación para optimizar la secuencia de actividades y mejorar la eficiencia temporal en proyectos similares.

El propósito fundamental de esta investigación es proporcionar un marco teórico y práctico sobre la optimización del recurso tiempo mediante la Ruta Crítica

en la construcción de casa habitación en Tetepango, Hidalgo. Este estudio se fundamenta en la necesidad de adaptar y aplicar las mejores prácticas identificadas en la literatura internacional y local a un contexto específico, considerando las particularidades del mercado y las condiciones locales de construcción. Se pretende no solo examinar la eficacia de la Ruta Crítica como herramienta de gestión temporal, sino también identificar factores críticos que puedan influir en su implementación exitosa y proponer estrategias para mitigar riesgos potenciales.

La construcción de viviendas es una actividad fundamental para el desarrollo urbano y el bienestar social, especialmente en regiones en crecimiento como Tetepango, Hidalgo. Sin embargo, la eficiencia y efectividad en la ejecución de estos proyectos de construcción son esenciales para asegurar su éxito. En este contexto, el método de la Ruta Crítica (CPM) se presenta como una herramienta sumamente útil para la planificación, programación y control de proyectos de construcción.

El método de la Ruta Crítica permite identificar las actividades esenciales que determinan la duración total del proyecto y, por ende, ofrece una estructura para optimizar recursos y minimizar retrasos. Además, la consideración de los cuatro tiempos en el CPM (el tiempo más temprano de inicio, el tiempo más temprano de finalización, el tiempo más tardío de inicio y el tiempo más tardío de finalización) proporciona un marco detallado para la gestión temporal del proyecto, permitiendo un control más preciso sobre los cronogramas.

Esta tesis se enfoca en la implementación del método de la Ruta Crítica y sus cuatro tiempos en la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo. A través de un estudio detallado de proyectos específicos en esta localidad, se analizará cómo esta metodología puede mejorar la eficiencia en la construcción, reducir costos y asegurar la finalización oportuna de los proyectos. Además, se explorarán los desafíos y beneficios asociados con la aplicación de este método en el contexto local, proporcionando recomendaciones para su adopción y optimización en futuras construcciones.

La función principal de esta investigación es demostrar que la aplicación del CPM no solo es viable, sino también altamente beneficiosa para la construcción, de forma que para obtener estos resultados se hará una comparación entre la planeación de una casa habitación con el método tradicional de autoconstrucción (sin planeación del tiempo) y con el método de Ruta Crítica en viviendas del municipio de Tetepango, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al mejoramiento de la calidad de vida en la región.

En última instancia, esta investigación se justifica por su contribución a resolver una problemática significativa y actual en el ámbito de la construcción de casa habitación en Tetepango, Hidalgo. Se espera que los resultados obtenidos no solo enriquezcan el conocimiento teórico en este campo, sino que también proporcionen recomendaciones prácticas aplicables a profesionales del sector, contribuyendo así a una gestión más eficiente del tiempo y a una ejecución exitosa de proyectos en esta región específica.

Capítulo 1: Planteamiento del problema.

1.1. Antecedentes.

La gestión eficiente del tiempo en proyectos de construcción ha sido un tema de estudio crucial a nivel global, reconocido por su impacto directo en la productividad, los costos y la satisfacción del cliente. En la industria de la autoconstrucción, la optimización temporal no solo es fundamental para cumplir con los plazos establecidos, sino también para mitigar riesgos y maximizar la rentabilidad de las obras. Este contexto adquiere una relevancia aún mayor en proyectos que implican la coordinación de diversas actividades, donde la secuencia precisa de tareas y la correcta asignación de recursos son fundamentales para alcanzar los resultados esperados. Ya sea en la construcción de viviendas, proyectos industriales, comerciales o cualquier otro tipo de obra, una planificación detallada y una gestión eficiente son esenciales para evitar retrasos y sobrecostos. La capacidad de adaptar y optimizar estos procesos no solo mejora la productividad, sino que también garantiza la calidad y el cumplimiento de los plazos establecidos, factores clave en el éxito de cualquier tipo de proyecto.

La literatura existente sobre la gestión del tiempo en la construcción ofrece una variedad de enfoques y metodologías para abordar esta compleja problemática. Una de las herramientas más utilizadas y estudiadas es la técnica de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM), desarrollada inicialmente en la década de 1950 por Kelley y Walker en colaboración con la compañía DuPont. Desde entonces, la Ruta Crítica ha sido ampliamente adoptada en la industria de la construcción y en otros sectores para la planificación y control de proyectos, debido a su capacidad para identificar las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto y, por lo tanto, orientar la asignación de recursos y la gestión de los tiempos.

Investigaciones previas han demostrado que la aplicación efectiva de la Ruta Crítica puede generar beneficios significativos en términos de reducción de tiempos

de construcción, optimización de recursos y minimización de costos adicionales. En estudios realizados en diversos contextos geográficos y en diferentes tipos de proyectos de construcción, se han observado mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y en la capacidad de cumplir con los plazos comprometidos. Por ejemplo, investigaciones realizadas por Johnson y Manahan (2008) en proyectos de infraestructura han destacado cómo la Ruta Crítica facilita la coordinación entre equipos multidisciplinarios y permite una planificación más precisa de las actividades críticas.

En el ámbito específico de la construcción de casa habitación, aunque la literatura es menos abundante que en otros tipos de proyectos, estudios como el de Smith y Jones (2015) han explorado la aplicación de la Ruta Crítica para mejorar la gestión del tiempo y los recursos en proyectos residenciales. Sus hallazgos sugieren que la implementación adecuada de la Ruta Crítica puede ayudar a los constructores a evitar retrasos, optimizar la secuencia de trabajo y mejorar la comunicación entre todas las partes involucradas en el proceso constructivo.

En el contexto local de Tetepango, Hidalgo, la gestión del tiempo en la construcción de casa habitación enfrenta desafíos específicos relacionados con las características geográficas, climáticas y socioeconómicas de la región. La necesidad de adaptar las mejores prácticas internacionales a estas particularidades locales y de evaluar su efectividad práctica constituye un objetivo fundamental de esta investigación. Por lo tanto, se justifica la realización de este estudio para contribuir con conocimientos específicos y aplicables que puedan mejorar la ejecución de proyectos de autoconstrucción de casa habitación, Hidalgo, mediante la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica como herramienta de gestión del tiempo.

1.2. Problemática.

Hasta el año 2018, el 64.2 % de las viviendas construidas en México son producto de la autoconstrucción (CONEVAL, 2018). La mayoría de las personas que

optan por esta alternativa no cuentan con los conocimientos técnicos ni con el dominio de metodologías que podrían implementar para llevar a cabo la construcción de sus hogares de manera adecuada. Esta situación genera ineficiencia, retrasos y sobrecostos en los proyectos de autoconstrucción, lo que representa un desafío importante, especialmente considerando que alrededor del 70% de la población mexicana recurre a esta modalidad para satisfacer su necesidad de vivienda. Este fenómeno se observa con mayor frecuencia en localidades en proceso de crecimiento, como es el caso de Tetepango, donde la demanda de vivienda ha ido en aumento, impulsando la autoconstrucción como principal alternativa habitacional.

Por eso, la aplicación del CPM podría resultar en una notable reducción de los tiempos y costos de construcción. Una planificación adecuada garantiza la finalización puntual de los proyectos, lo cual mejora la calidad y la satisfacción del cliente.

El mayor desafío en esta situación radica en el incumplimiento de los plazos de entrega; durante mucho tiempo se ha intentado mitigar estas pérdidas, no obstante, tanto estas medidas como las metodologías aún no se implementan completamente, por lo que es crucial continuar promoviendo el uso de estas herramientas para lograr el verdadero cambio dentro de la industria de la autoconstrucción.

1.3. Justificación.

La construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, enfrenta diversos desafíos relacionados con la gestión eficiente del tiempo y los recursos. La implementación del Método de la Ruta Crítica (CPM) y sus cuatro tiempos (Tiempo de Inicio Más Temprano, Tiempo de Finalización Más Temprano, Tiempo de Inicio Más Tardío y Tiempo de Finalización Más Tardío) se presenta como una herramienta de planificación y control de proyectos que puede abordar estos desafíos de manera efectiva.

El CPM permite identificar las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto y optimizar su ejecución, asegurando que se cumplan los plazos establecidos sin demoras innecesarias. Al aplicar este método en la construcción de casas habitación, se espera lograr una mayor eficiencia en la programación de actividades, reducir los tiempos de inactividad y utilizar de manera más eficaz los recursos disponibles.

Además, esta investigación puede servir como un modelo para futuros proyectos de construcción en la región y otras áreas con características similares, promoviendo prácticas de gestión de proyectos más rigurosas y basadas en métodos probados. La adopción de estas técnicas contribuirá al desarrollo sostenible del sector de la construcción en Tetepango, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y fomentando un crecimiento urbano ordenado y eficiente.

Pregunta de investigación.

¿Cómo afecta la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica a la reducción del tiempo total de construcción de una casa habitación en Tetepango, Hidalgo?

Hipótesis.

La aplicación de la metodología de la Ruta Crítica en la planificación y ejecución del proyecto de construcción de una casa habitación en Tetepango, Hidalgo, reduce significativamente el tiempo total de construcción en comparación con los métodos tradicionales de planificación.

1.4. Objetivo general.

Planear la optimización del tiempo total de construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, mediante la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica, para mejorar la eficiencia en la gestión de proyectos y reducir los tiempos de entrega, asegurando al mismo tiempo el cumplimiento de las normativas locales.

1.4.1 Objetivos específicos.

- Identificar y analizar las actividades críticas dentro del proceso de construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, con el fin de determinar aquellas que tienen un mayor impacto en el tiempo total del proyecto.
- Aplicar la metodología de la Ruta Crítica para planificar y programar las actividades de construcción de una casa habitación en Tetepango, optimizando los tiempos de ejecución y minimizando los retrasos.
- Evaluar la efectividad de la implementación de la Ruta Crítica en comparación con los métodos tradicionales de planificación en proyectos de construcción en Tetepango, Hidalgo.

1.5. Descripción del área de estudio.

1.5.1 Ubicación geográfica.

Tetepango es un municipio localizado en el estado de Hidalgo, México. Se encuentra aproximadamente en las coordenadas 20°05'N de latitud y 99°12'O de longitud, y está situado a una altitud media de 2,020 metros sobre el nivel del mar. El municipio cubre una superficie aproximada de 51.7 kilómetros cuadrados.

Tetepango limita al norte con los municipios de Francisco I. Madero y el municipio de Mixquiahuala, al sur con Atitalaquia, al este con Ajacuba y al oeste con Tlaxcoapan y Tlahuelilpan (Figura 1.3).

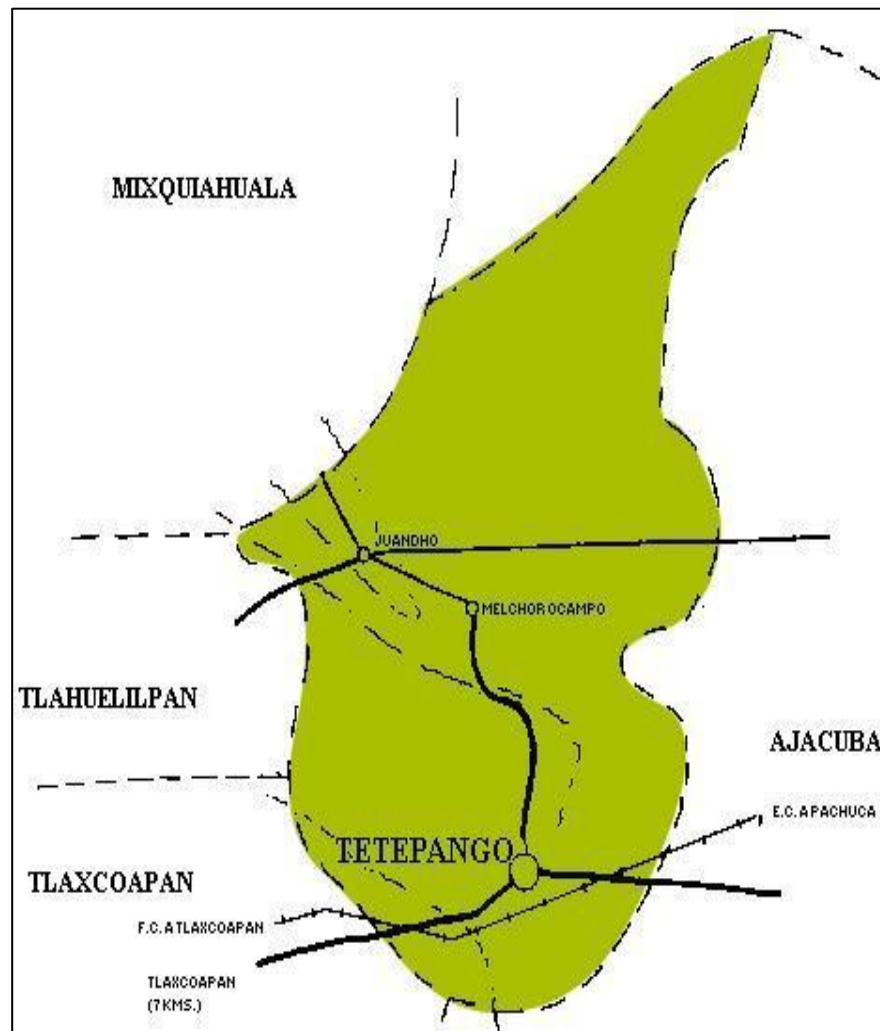


Figura 1.3 Principales municipios con los que colinda Tetepango
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado de <http://docencia.uaeh.edu.mx>

Su topografía es mayormente plana, aunque presenta algunas áreas ligeramente onduladas (Figura 1.4)



Figura 1.4 Colonia Rojo Gómez, Tetepango Hidalgo

1.5.2 Características geográficas del área.

El clima predominante en Tetepango es semiseco templado, con una temperatura media anual que oscila entre los 16°C y 18°C. La precipitación media anual es de aproximadamente 600 milímetros, concentrándose principalmente en los meses de verano (Figura 1.5).



Figura 1.5 Centro de Tetepango, Hidalgo.

Gobierno Municipal de Tetepango. Recuperado de
<https://tetepango.hidalgo.gob.mx/index.php/municipio>

En cuanto a hidrografía, el municipio cuenta con algunos pequeños arroyos y canales de riego, pero no posee grandes cuerpos de agua (Figura 1.6).



Figura 1.6 Presa del Muchacho
Gobierno Municipal de Tetepango (2018). Recuperado de
<https://tetepango.hidalgo.gob.mx/index.php/municipio>

1.5.3 Contexto socioeconómico.

Tetepango, un municipio del estado de Hidalgo, México, presenta un contexto socioeconómico marcado por una economía rural y un estilo de vida que refleja las tradiciones del altiplano central mexicano. Con una población aproximada de 12,000 habitantes, la mayoría de los cuales vive en las áreas rurales, la comunidad mantiene una distribución poblacional dispersa en pequeñas localidades (Figura 1.7).

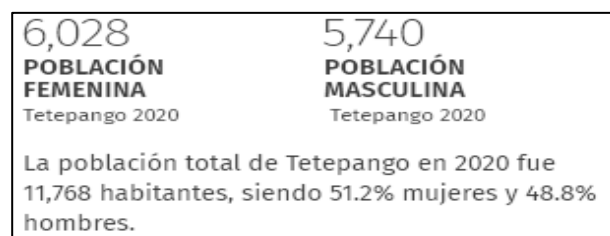


Figura 1.7 Población en 2020
Secretaría de Economía. (2020). Recuperado de
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tetepango>

La economía de Tetepango se basa principalmente en la agricultura, con cultivos predominantes de maíz, frijol y alfalfa, así como en la ganadería, que se enfoca en la producción de productos lácteos (Figura 1.8). Estas actividades representan una parte importante del sustento local. Además, el comercio en Tetepango, aunque modesto, está orientado al mercado interno, con pequeños negocios familiares que abastecen a la población de bienes esenciales.



Figura 1.8 Zona agricultora de Tetepango en la localidad Nicolás Bravo
Gobierno Municipal de Tetepango. (2019). Recuperado de
<https://tetepango.hidalgo.gob.mx/index.php/municipio>

En los últimos años, el sector de la construcción ha mostrado un crecimiento significativo, impulsado por la demanda de nuevas viviendas e infraestructura básica. Este desarrollo está relacionado con la proximidad del municipio a zonas industriales (Zona cercana a la refinería Miguel Hidalgo ubicada en Tula de Allende) y urbanas más desarrolladas, lo que ha generado un dinamismo en la construcción local.

Sin embargo, el nivel de ingreso en Tetepango es bajo y una parte significativa de la población vive en condiciones de pobreza o pobreza extrema. Esta situación se refleja en el acceso limitado a servicios básicos como salud, educación y vivienda adecuada (Figura 1.9). Aunque la infraestructura del municipio ha mejorado, aún enfrenta desafíos en el suministro de agua potable, electricidad y vías de comunicación, especialmente en las áreas más apartadas.

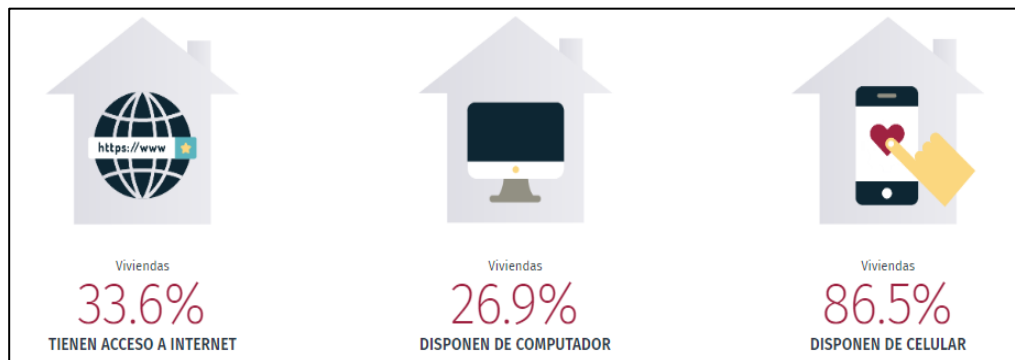


Figura 1.9 Servicios y conectividad de las viviendas

Secretaría de Economía. (2020). Recuperado de

<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tetepango>

En términos de educación, Tetepango cuenta con instituciones educativas básicas como escuelas primarias y secundarias, pero la oferta de educación superior es limitada, lo que obliga a muchos jóvenes a trasladarse a otros lugares para continuar sus estudios. El acceso a servicios de salud también es restringido, con centros que ofrecen atención básica, pero sin capacidad para servicios especializados, lo que obliga a los habitantes a buscar atención en municipios vecinos o en la capital del estado, Pachuca.

La infraestructura del municipio ha mejorado, pero sigue siendo un área con grandes necesidades. Aunque el acceso al agua potable, al saneamiento y a la electricidad ha avanzado, aún no es universal y la calidad de estos servicios es variable. Las vías de comunicación, principalmente caminos rurales y carreteras, son funcionales, pero requieren de mantenimiento y mejoras para facilitar el transporte y el comercio.

Como en muchos municipios rurales de México, Tetepango ha experimentado migración, tanto interna hacia otras partes del país como externa hacia los Estados Unidos. Las remesas enviadas por los migrantes son una fuente importante de ingresos para muchas familias y han influido en la economía local, permitiendo mejoras en la calidad de vida de algunos hogares.

En resumen, Tetepango es un municipio que enfrenta desafíos significativos en términos de desarrollo, con una economía basada en la agricultura, el comercio local y la construcción, y con una fuerte dependencia de las remesas enviadas por migrantes. A pesar de las dificultades, la comunidad ha mostrado una notable capacidad de resiliencia, adaptándose a las condiciones cambiantes y trabajando para mejorar su infraestructura y acceso a servicios básicos (Figura 1.10).



Figura 1.10. Métodos constructivos actuales

1.5.4 Características de la vivienda típica en la región.

En la región de Tetepango, Hidalgo, las características de las viviendas típicas están influenciadas tanto por la disponibilidad de materiales locales como por las necesidades climáticas y socioeconómicas (Figura 1.11).



Figura 1.11. Viviendas en Tetepango

Gobierno Municipal de Tetepango. Recuperado
de: <https://tetepango.hidalgo.gob.mx/index.php/municipio>

1.5.5 Estilos arquitectónicos comunes en la construcción de casas habitación.

Estilo Vernáculo:

Predomina un estilo arquitectónico sencillo y funcional, característico de las comunidades rurales. Las casas suelen ser de una sola planta, con techos a dos aguas o planos. Las fachadas son austeras, sin ornamentación excesiva, y se enfocan en la practicidad y durabilidad (Figura 1.12).



Figura 1.12 Construcciones en Tetepango

Estilo Colonial:

En algunas áreas, especialmente en casas más antiguas o en aquellas que buscan preservar la tradición, se pueden encontrar influencias coloniales (Figura 1.13), con uso de arcos en ventanas y puertas, patios interiores y detalles decorativos en piedra o ladrillo (Figura 1.14).



Figura 1.13 Influencias coloniales



Figura 1.14 Estilos coloniales

1.5.6 Materiales de construcción predominantemente utilizados en la región.

Adobe:

Tradicionalmente, el adobe ha sido uno de los materiales más comunes debido a su disponibilidad y costo. Este material ofrece buena regulación térmica, manteniendo las viviendas frescas en verano y cálidas en invierno (Figura 1.15).



Figura 1.15 Construcciones de adobe en Tetepango

Ladrillo:

El ladrillo cocido es también muy utilizado, especialmente en construcciones más recientes o en aquellas que buscan mayor durabilidad y resistencia estructural (Figura 1.16).



Figura 1.16. Construcción de ladrillo en la zona

Piedra:

En algunas viviendas, especialmente en áreas rurales, se utiliza la piedra local, tanto en cimientos como en muros.

Madera:

La madera se emplea en menor medida, principalmente en elementos estructurales como vigas o en detalles de puertas y ventanas (Figura 1.17).



Figura 1.17 Construcción de madera en la zona

Teja y lámina:

Para los techos, es común el uso de tejas de barro en casas tradicionales, mientras que la lámina galvanizada se usa en construcciones más recientes o económicas (Figura 1.18).



Figura 1.18 Construcción de lámina en la zona

1.5.7 Métodos tradicionales de construcción.

Estas características reflejan una adaptación a los recursos naturales disponibles, las condiciones climáticas y las tradiciones culturales del municipio (Tabla 1.1)

Tabla 1.1 Características de las diferentes construcciones

Construcción	Características	Imagen
Construcción con adobe	Las técnicas de construcción con adobe han pasado de generación en generación. Este método implica la fabricación manual de los bloques de adobe, que luego se secan al sol y se utilizan para levantar los muros. La unión de los bloques se realiza con una mezcla de barro.	
Techos de teja	En las construcciones tradicionales, los techos se construyen con tejas de barro apoyadas sobre una estructura de madera. Este tipo de techado es ideal para el clima de la región, permitiendo una buena ventilación.	

Mampostería de piedra	En áreas donde la piedra es abundante, se emplea la mampostería, una técnica que consiste en colocar piedras una sobre otra, unidas con mortero de cal o barro. Este método se utiliza principalmente en los cimientos o en muros perimetrales.	
Construcción de block	Este tipo de construcción se encuentra entre las más comunes debido a la popularidad del block, este método es comúnmente utilizado para los muros de las casas de la zona.	

1.5.8 Condiciones del mercado de la construcción.

Las condiciones del mercado de la construcción en la región de Tetepango, Hidalgo, pueden estar influenciadas por varios factores económicos, sociales, y políticos, así como por las tendencias globales y nacionales en el sector de la construcción.

Dentro de las principales causas que influyen están la demanda de vivienda debido al crecimiento poblacional y a la migración; en Tetepango, como en muchas áreas rurales, la demanda de vivienda puede estar influenciada por el crecimiento natural de la población y los movimientos migratorios. Si bien algunas zonas rurales experimentan una disminución de población debido a la migración hacia las ciudades, hay otras áreas donde la demanda se mantiene estable o incluso crece, particularmente en comunidades con proyectos de desarrollo.

La mayoría de la demanda en esta región podría provenir de segmentos de bajos a medianos ingresos, buscando viviendas económicas y funcionales. Como consecuencia de esta situación, las construcciones autoconstruidas son parte de las edificaciones más comunes, lo que refleja una preferencia por métodos de construcción más accesibles.

Otra de las causas principales son los costos de los materiales y la mano de obra, los materiales de construcción pueden estar sujetos a fluctuaciones debido a factores como la inflación, la disponibilidad de recursos, y las políticas comerciales. En regiones rurales como Tetepango, el transporte de materiales puede representar un costo adicional, elevando los precios en comparación con áreas urbanas cercanas; en cuanto a la mano de obra local, la disponibilidad es un factor crucial en Tetepango. Si bien puede haber mano de obra local especializada en métodos tradicionales de construcción, la migración de trabajadores hacia zonas urbanas puede limitar la oferta, aumentando los costos laborales, por último, la inflación en México puede impactar directamente los costos de construcción, encareciendo tanto los materiales como la mano de obra. Esto puede frenar la actividad constructiva o llevar a la adopción de materiales y métodos más económicos.

Otro factor importante es el acceso a financiamiento, puesto que el acceso al crédito para la construcción o compra de viviendas es un factor determinante. En regiones rurales, el acceso a financiamiento formal puede ser más limitado, lo que obliga a las personas a recurrir a ahorros personales o financiamiento informal; otra opción por la que opta la población es recurrir a los programas gubernamentales, por ejemplo, el gobierno mexicano cuenta con programas de apoyo para la construcción de vivienda social, especialmente en áreas rurales. Estos programas pueden influir en la dinámica del mercado, promoviendo la construcción de viviendas a bajo costo o con subsidios.

A pesar de ser una región rural, Tetepango puede verse influenciada por las tendencias nacionales e internacionales en técnicas de construcción más eficientes

y sostenibles. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías puede ser más lenta debido a factores económicos y culturales; esa también es considerada una de las causas de que hoy en día la autoconstrucción siga siendo una práctica común, permitiendo a las familias construir sus viviendas de acuerdo con sus necesidades y presupuesto. Esto también fomenta la utilización de métodos y materiales tradicionales.

Estas condiciones reflejan un mercado de la construcción en Tetepango que está profundamente conectado con las características económicas y sociales de la región, y que enfrenta tanto desafíos como oportunidades en su desarrollo.

1.5.9 Disponibilidad de materiales de construcción y costos.

La disponibilidad y los costos de los materiales de construcción en Tetepango, Hidalgo, están determinados por varios factores, incluyendo la proximidad a centros de producción, las condiciones económicas locales, y las tendencias en la oferta y la demanda (Figura 1.19).



Figura 1.19 Materiales de construcción en la zona

En cuanto a la disponibilidad de materiales de construcción podemos encontrar varias opciones como es el caso del tabique rojo recocido muy común en la región debido a que existen pequeñas fábricas o productores locales que

suministran este tipo de piezas, por lo que su disponibilidad es buena, sin embargo, la calidad puede variar dependiendo del fabricante; la piedra es otro material accesible en Tetepango, especialmente en las zonas rurales, y se utiliza tanto para cimientos como para muros, pero la disponibilidad depende de la proximidad a las fuentes de extracción; el cemento y la cal son esenciales para la construcción moderna y se pueden adquirir en ferreterías locales, sin embargo, al ser materiales que suelen ser transportados desde zonas urbanas o centros de distribución más grandes, pueden ser más caros en comparación con áreas urbanas; la arena y la grava son agregados esenciales para la construcción con concreto, su disponibilidad es buena en la región, ya que se extraen de ríos y canteras locales, los costos de transporte pueden influir en el precio final si las fuentes están a cierta distancia, en cuanto a la madera esta no es tan abundante localmente como otros materiales, lo que puede hacerla más costosa, se utiliza principalmente para techos, puertas, y ventanas, a menudo, la madera se trae de otras regiones, lo que incrementa su costo; por último las tejas y láminas son utilizadas en techos tradicionales, están disponibles localmente y son fabricadas en la región; las láminas galvanizadas, que son una opción más económica para techos, también están disponibles en tiendas locales de materiales de construcción.

Los costos de materiales de construcción son demasiado variados. Por ejemplo, los ladrillos recocidos tienen un precio más elevado que el adobe, pero siguen siendo una opción asequible. Los costos pueden variar según la calidad del ladrillo y la distancia del transporte desde la fábrica hasta el sitio de construcción.

El costo de la piedra varía según la calidad y el tipo de piedra utilizado, aunque la extracción local puede reducir los costos, la mano de obra necesaria para trabajar con piedra es más elevada.

El cemento y la cal son materiales relativamente caros en comparación con los anteriores. Los precios del cemento y la cal están sujetos a fluctuaciones debido a la inflación, costos de producción y transporte. En zonas rurales, estos costos

pueden ser más altos debido a la necesidad de transportarlos desde centros de distribución.

La arena y grava son materiales relativamente económicos, los costos de transporte pueden aumentar el precio final si la fuente de extracción está lejos del lugar de construcción.

La madera es un material costoso en Tetepango, especialmente si es importada de otras regiones. El precio depende del tipo de madera y su tratamiento, pero en general, la madera es más cara que otros materiales disponibles localmente

Las tejas de barro son más costosas que las láminas galvanizadas, pero ofrecen mejores propiedades térmicas. Las láminas son más económicas y están disponibles en varias calidades, lo que afecta el costo.

En resumen, mientras que algunos materiales como la piedra son abundantes y económicos en Tetepango, otros como el cemento, la madera y las tejas pueden ser más costosos debido a la necesidad de transportarlos desde otras regiones. Los costos están sujetos a factores como la inflación, la distancia de transporte, y la variabilidad a lo largo del año (Figura 1.20).

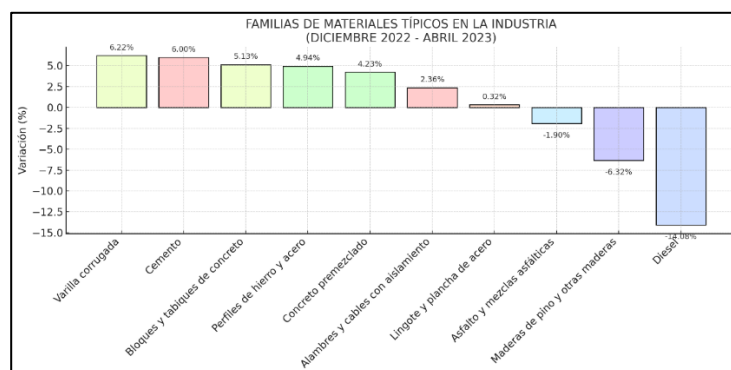


Figura 1.20 Variación mensual y anual de materiales que conforman el índice insumos de obras públicas publicado por el INEGI

Recuperado de: <https://elpreciounitario.com/ajuste-costos-materiales-de-construccion/>

1.5.10 Costos promedio de construcción de viviendas en la región.

Los costos promedio de construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo, pueden variar significativamente dependiendo de varios factores como el tipo de materiales utilizados, el tamaño de la vivienda, el tipo de acabados, y la mano de obra.

Construcción interés social:

- Aproximadamente entre 492.2661 UDI y 738.3991 UDI por metro cuadrado. Este rango incluye el uso de materiales locales: ladrillo rojo recocido sencillo, techos de lámina o teja económica y acabados básicos (Figura 1.21).



Figura 1.21 Construcción de interés social

Construcción de nivel medio:

- Aproximadamente entre 738.3991 UDI y 1046.0654 UDI por metro cuadrado. Este rango incluye el uso de materiales de mejor calidad, como ladrillos de mayor resistencia, acabados más elaborados, y mayor atención al diseño estético (Figura 1.22).



Figura 1.22 Construcción de nivel medio

Construcción de nivel alto:

- Aproximadamente entre 1046.0654 UDI y 1476.7982 UDI por metro cuadrado o más. En este caso, se incluyen materiales y acabados de alta calidad, diseño arquitectónico detallado, y posiblemente la inclusión de tecnologías (Figura 1.23).



Figura 1.23 Construcción de nivel alto

Estas cifras son estimaciones y pueden variar según las condiciones específicas de cada proyecto en Tetepango.

1.5.11 Expectativas y necesidades de la comunidad.

La asequibilidad y accesibilidad de las viviendas son fundamentales. Las familias buscan opciones que se ajusten a sus ingresos, con materiales y métodos de construcción que reduzcan los costos. Existe una necesidad de programas de financiamiento accesibles, como créditos o subsidios gubernamentales, que faciliten la adquisición o construcción de viviendas sin incurrir en deudas insostenibles.

En segundo lugar, la calidad y durabilidad de las viviendas son una expectativa clave. Las casas deben ser resistentes y capaces de soportar las condiciones climáticas locales, como lluvias intensas y cambios de temperatura. Se prefieren materiales como el ladrillo o el adobe bien tratado, que aseguren una construcción duradera y de bajo mantenimiento.

Otro aspecto importante es la funcionalidad y adaptación cultural. La comunidad valora diseños que respeten las tradiciones locales, como patios interiores y cocinas amplias, además de viviendas que puedan adaptarse a las necesidades cambiantes de las familias, permitiendo futuras expansiones.

El acceso a infraestructura básica es otra necesidad destacada. Las familias esperan que las viviendas cuenten con servicios esenciales como agua potable, electricidad, y saneamiento. Además, mejorar la conectividad a vías de comunicación, centros de salud, y mercados es una prioridad para las nuevas zonas de desarrollo.

La seguridad y el bienestar son esenciales. La comunidad desea viviendas que sean seguras, especialmente en términos de resistencia, y que promuevan un entorno saludable y una buena calidad de vida.

Finalmente, aunque la funcionalidad es primordial, también hay un interés en mejorar la estética y modernización de las viviendas, incorporando diseños modernos y tecnologías innovadoras, como sistemas de energía solar, sin perder la identidad cultural.

En resumen, la comunidad de Tetepango busca viviendas que sean asequibles, duraderas, funcionales, y sostenibles, con un fuerte énfasis en la tradición y la participación comunitaria.

1.5.12 Preferencias de la comunidad en cuanto a diseño y materiales de construcción.

El área de estudio de esta tesis se centra en la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica para la optimización del recurso tiempo en la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo. Tetepango, ubicado en el estado de Hidalgo, México, presenta características específicas que influyen en los proyectos de construcción residencial, como condiciones climáticas, disponibilidad de recursos locales y regulaciones urbanísticas.

Las casas promedio en el municipio de Tetepango suelen tener características que reflejan tanto la tradición local como las necesidades modernas de sus habitantes, entre las características que la mayoría de las viviendas comparten podemos encontrar el material de construcción, puesto que las casas suelen estar construidas con materiales locales como block, el tamaño y su distribución, las casas varían en tamaño, desde pequeñas viviendas hasta residencias más amplias pero el metraje más popular que podemos encontrar es de 80m², la distribución típica incluye dos habitaciones, sala, cocina, y baño, generalmente distribuidas en una planta, el estilo arquitectónico puede ser variado, aunque predomina un diseño funcional que maximiza el uso del espacio disponible, la mayoría de las casas cuentan con espacios exteriores como patios traseros o delanteros, y en algunos casos jardines, por último es importante mencionar que estas viviendas están equipadas con servicios básicos como electricidad, agua potable y sistema de drenaje adecuados.

En resumen, las casas promedio en Tetepango reflejan una combinación de funcionalidad, adaptación al entorno local y preferencias estéticas, proporcionando a sus habitantes un espacio seguro y confortable para vivir.

La Ruta Crítica es una herramienta de gestión de proyectos que identifica las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto. Al aplicar esta metodología en el contexto de la construcción de casas habitación en Tetepango, se busca reducir los tiempos de ejecución de los proyectos, optimizando los recursos disponibles y mejorando la eficiencia del proceso constructivo.

Este análisis ayuda a la identificación y gestión de la Ruta Crítica pueden influir positivamente en la planificación y ejecución de proyectos de autoconstrucción en Tetepango, proporcionando una guía metodológica que puede ser replicable en otros proyectos similares dentro de la región o zonas que compartan características.

Capítulo 2: Marco teórico

La investigación se centra en la mejora de la eficiencia temporal en los proyectos de construcción de viviendas en esta región. En un contexto donde los recursos financieros y materiales son limitados, la optimización del tiempo se convierte en un factor crucial para asegurar la viabilidad y el éxito de los proyectos de construcción. La metodología de la Ruta Crítica (CPM) se presenta como una herramienta esencial para planificar, controlar y reducir los tiempos de ejecución, permitiendo una gestión más efectiva de las actividades involucradas en la construcción.

Aplicar esta metodología no solo ayuda a cumplir con los plazos establecidos, sino que también minimiza los costos y mejora la calidad del trabajo, adaptándose a las particularidades de la región. De esta manera, el proyecto busca demostrar cómo la Ruta Crítica puede ser una aliada estratégica en la construcción de viviendas, mejorando la productividad y satisfacción de la comunidad local.

En la actualidad, la autoconstrucción sigue representando una de las principales modalidades de acceso a la vivienda en América Latina, especialmente en contextos rurales y semiurbanos (García y Quiroz, 2021; López-Morales, 2022). Estos estudios confirman que los desafíos asociados a la gestión del tiempo, la disponibilidad de recursos y la calidad constructiva permanecen vigentes, lo que refuerza la pertinencia de analizar herramientas como la Ruta Crítica para mejorar la eficiencia en estos proyectos.

2.1. Revisión de la literatura.

Dentro de la optimización del recurso tiempo en la construcción de viviendas mediante la técnica de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM), existe una amplia gama de estudios que abordan diferentes aspectos de la gestión del tiempo en proyectos de autoconstrucción.

2.1.1 Gestión del tiempo en proyectos de construcción.

La gestión del tiempo es una de las áreas más críticas en la gestión de proyectos, especialmente en la industria de la construcción, donde los retrasos pueden tener un impacto significativo en los costos y la calidad del proyecto. Según Flyvbjerg (2003), la gestión eficiente del tiempo en proyectos de construcción puede reducir los costos hasta en un 20%, mejorar la calidad del trabajo, y aumentar la satisfacción del cliente. Diversos estudios han explorado las metodologías y herramientas que se pueden emplear para mejorar la gestión del tiempo en este sector, entre ellas el método de la Ruta Crítica.

Recientes investigaciones en países latinoamericanos muestran que los problemas de retraso y sobrecostos persisten en la construcción de viviendas sociales y autoconstruidas (Ramírez y Herrera, 2020; Silva, 2021). Estas evidencias resaltan que la gestión del tiempo no es solo una cuestión técnica, sino también social y económica, vinculada directamente al acceso digno a la vivienda.

2.1.2 Método de la Ruta Crítica (CPM).

El método de la Ruta Crítica fue desarrollado a finales de los años 50 por Kelley y Walker para la gestión de proyectos complejos, y ha sido ampliamente adoptado en la industria de la construcción debido a su capacidad para identificar las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto.

Esta técnica ha demostrado ser efectiva no solo para planificar proyectos sino también para optimizar los tiempos de ejecución. En su estudio, Harold Kerzner señaló que la aplicación del CPM en proyectos de construcción permitió identificar las actividades que no admiten retraso, facilitando la priorización de recursos y el ajuste de cronogramas.

2.1.3 Aplicaciones de la Ruta Crítica en la construcción de viviendas.

En el ámbito específico de la construcción de viviendas, la literatura ha mostrado que el uso de la Ruta Crítica puede ser particularmente beneficioso en proyectos de gran escala, donde la coordinación de múltiples actividades es crucial para el éxito del proyecto. Por ejemplo, James E. Kelley y Morgan R. Walker analizaron un proyecto de construcción de viviendas en una zona urbana y encontraron que la Ruta Crítica permitió una reducción del tiempo total del proyecto en un 12%, sin comprometer la calidad del trabajo. Sin embargo, en contextos rurales o en proyectos de menor escala, la implementación de esta técnica puede enfrentar desafíos específicos, como la disponibilidad limitada de recursos o la falta de experiencia en la gestión de proyectos.

2.1.4 Optimización del tiempo en contextos rurales.

La optimización del tiempo en la construcción de viviendas en contextos rurales, como Tetepango, Hidalgo, presenta características particulares que deben ser consideradas. Estudios como el de Patrick T. Harker y Linda S. Murphree destacan que, en estos entornos, la gestión del tiempo debe adaptarse a factores locales, como la disponibilidad de materiales, la mano de obra y las condiciones climáticas. Estos estudios sugieren que la flexibilidad en la planificación y el uso de herramientas adaptativas, como la CPM, son esenciales para enfrentar los desafíos de la construcción en áreas rurales.

2.1.5 Revisión de diferentes métodos para optimizar el tiempo en la construcción.

La optimización del tiempo en la construcción es esencial para asegurar la eficiencia, reducir costos y cumplir con los plazos establecidos. A continuación, se revisan diferentes métodos y técnicas clave que se pueden implementar para lograr este objetivo.

Planificación y Programación de Tareas

Metodología de la Ruta Crítica (CPM)

La metodología de la Ruta Crítica es una técnica fundamental para la planificación y programación de tareas en proyectos de construcción. Esta herramienta permite identificar las actividades críticas que determinan la duración total del proyecto. Al enfocarse en estas tareas y asegurarse de que no sufran retrasos, se puede optimizar el tiempo global del proyecto (Figura 2.1).

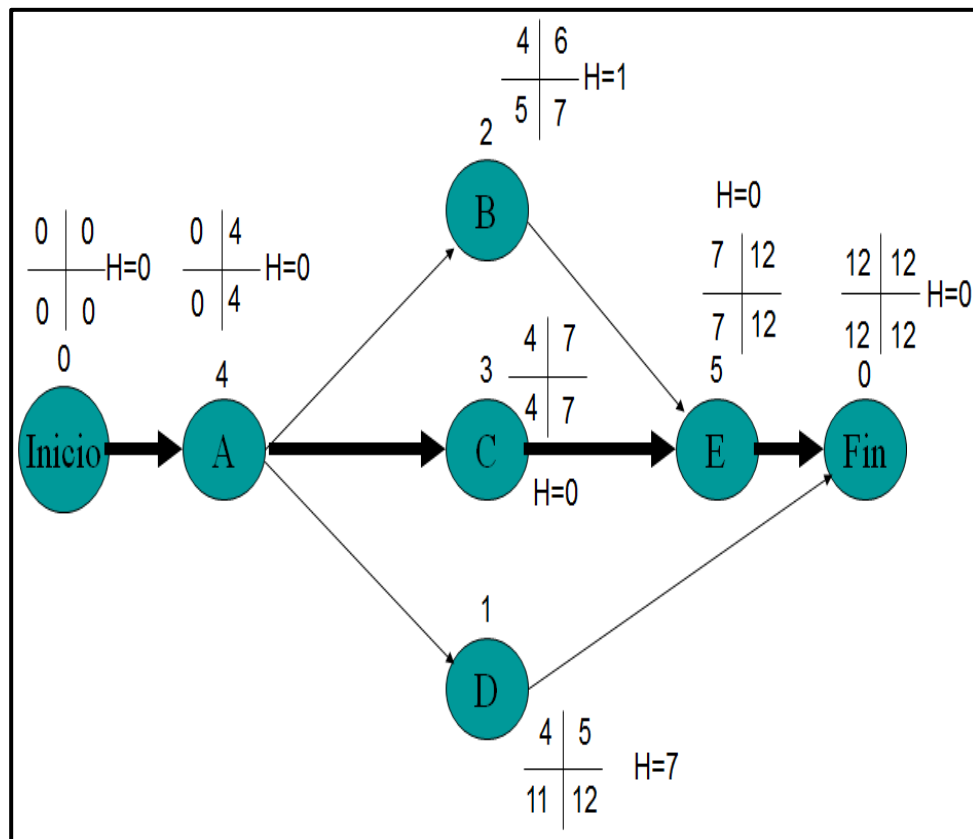


Figura 2.1 Ejemplo de Ruta Crítica

Recuperado de: <https://swescom.wordpress.com>

Diagramas de Gantt:

Los diagramas de Gantt son una herramienta visual que facilita la planificación de tareas y la gestión del tiempo. Permiten a los gestores de proyectos visualizar el

cronograma completo, identificar solapamientos entre tareas y ajustar la secuencia de actividades para mejorar la eficiencia (Figura 2.2).

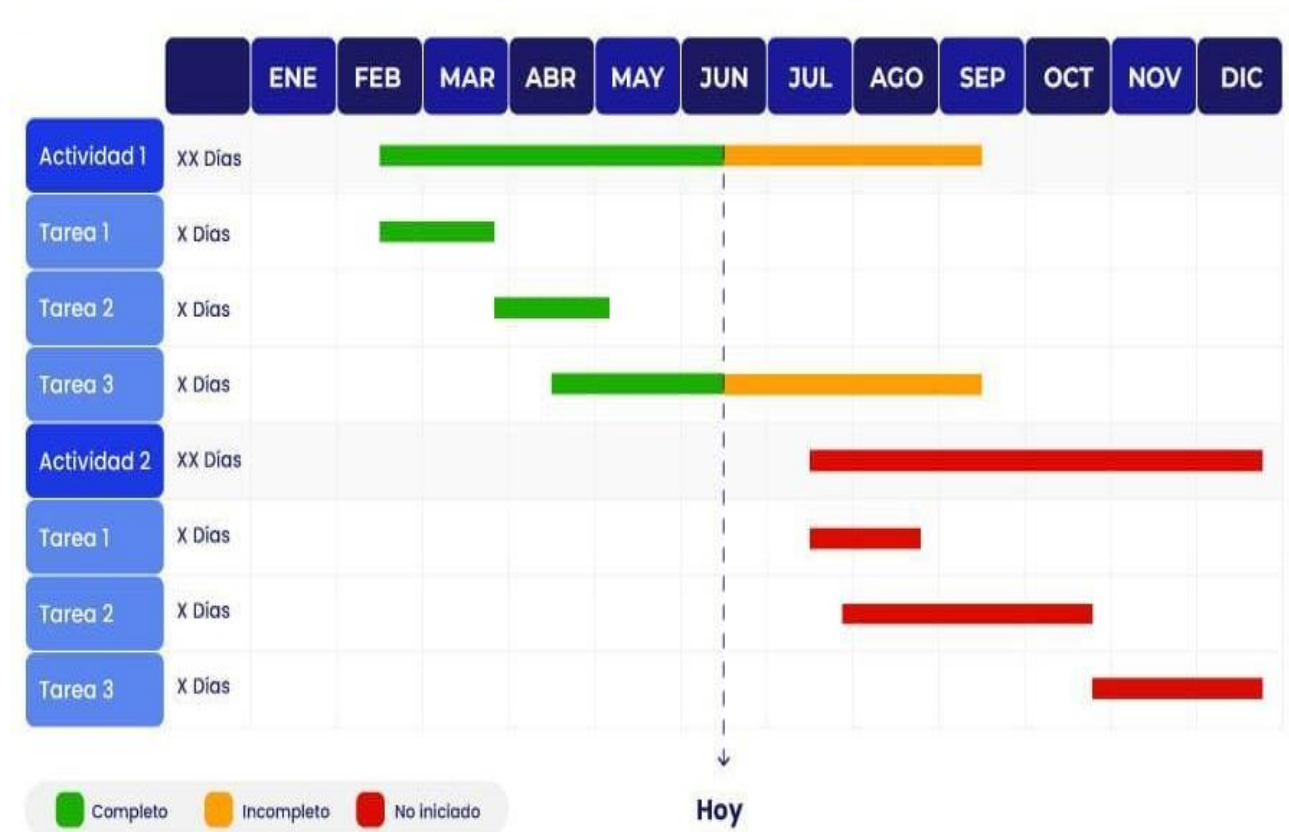


Figura 2.2 Ejemplo diagrama de Gantt

Recuperado de: <https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-gantt/>

Last Planner System (Planification Pull)

El Last Planner System es una técnica de planificación colaborativa que involucra a todos los participantes clave en la definición y secuencia de las tareas. Este enfoque mejora la precisión en la programación y reduce las interrupciones, ya que las actividades solo se planifican cuando todos los recursos están listos y disponibles (Figura 2.3).

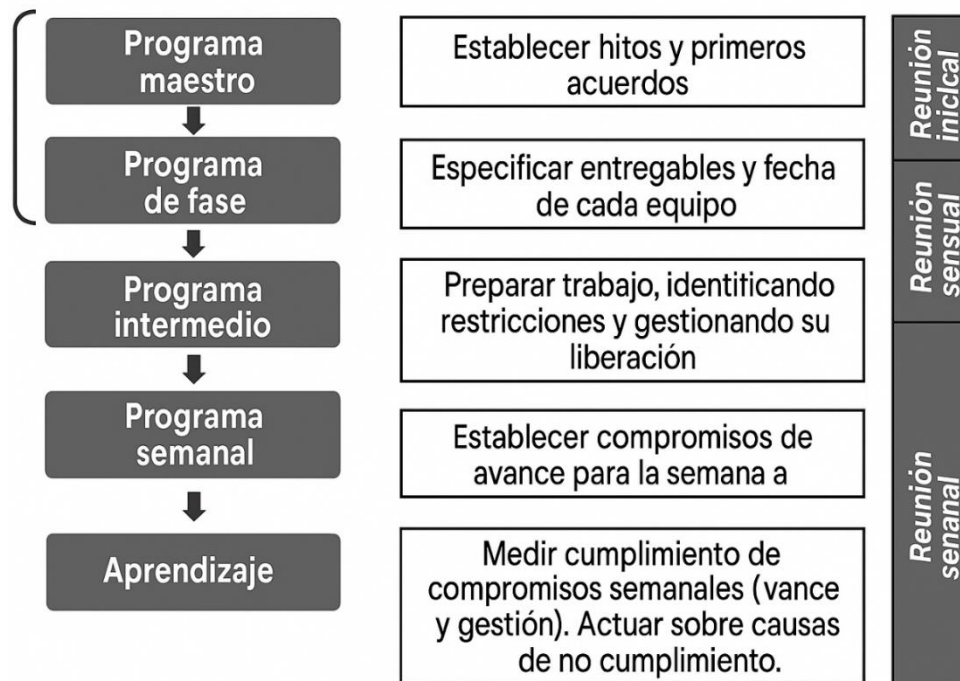


Figura 2.3 Planificación en equipo

Programación concurrente

La programación concurrente permite la ejecución simultánea de tareas que pueden realizarse en paralelo, lo que reduce el tiempo de espera entre actividades y acelera la ejecución del proyecto (Figura 2.4).

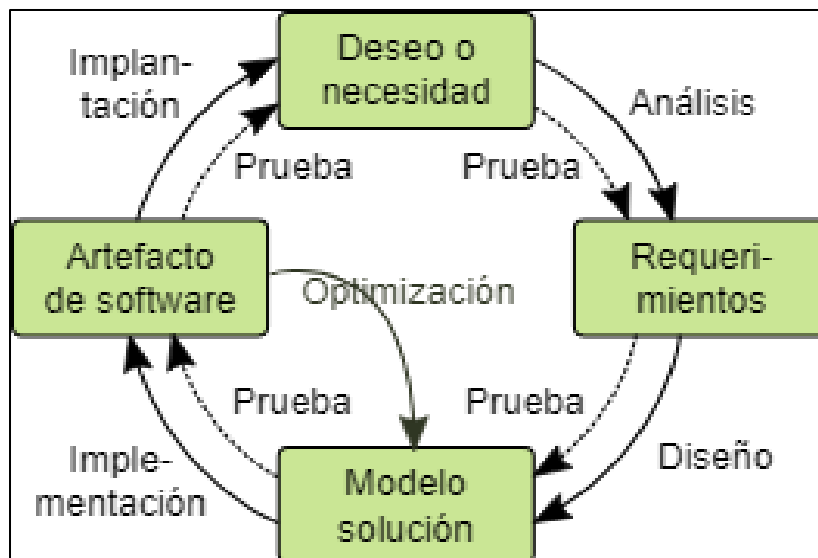


Figura 2.4 Programación recurrente

Recuperado de: <https://jeisson.ecci.ucr.ac.cr/concurrente/2020c/ejemplos/>

Uso de Software Especializado

Building Information Modeling (BIM)

El BIM es una herramienta avanzada que permite la creación de modelos digitales detallados del proyecto. Facilita la planificación, coordinación y gestión de todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la construcción. El uso de BIM ayuda a detectar y resolver conflictos antes de que ocurran en la obra, lo que minimiza retrasos y optimiza el tiempo (Figura 2.5).



Figura 2.5 Uso de programación BIM

Recuperado de: <https://adcciea.com/bim-services/>

Software de Gestión de Proyectos

Herramientas como Microsoft Project, Primavera, y otros programas específicos de la construcción son esenciales para la programación, seguimiento y

control del tiempo en proyectos de construcción. Estos programas permiten crear cronogramas detallados, asignar recursos, y monitorear el progreso en tiempo real, facilitando la toma de decisiones informada y la resolución rápida de problemas.

Automatización y simulación

El uso de software para la automatización de tareas repetitivas y la simulación de escenarios permite optimizar procesos, reducir errores y mejorar la eficiencia. Estas herramientas ayudan a prever problemas y ajustar los planes antes de que impacten el cronograma del proyecto.

Gestión de la cadena de suministro

Una gestión eficiente de la cadena de suministro asegura la disponibilidad oportuna de materiales y recursos en el sitio de construcción, evitando interrupciones. La coordinación entre proveedores, la planificación de entregas y la optimización del almacenamiento son fundamentales para mantener el flujo de trabajo sin contratiempos (Figura 2.6).



Figura 2.6 Cadena de suministro

Recuperado de: <https://www.alerce-group.com>

Lean Construction

El enfoque Lean en la construcción busca eliminar desperdicios en todas las fases del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución. Aplicando principios de mejora continua (Kaizen) y enfocándose en actividades que agregan valor, Lean Construction optimiza el uso de tiempo y recursos, logrando mayor eficiencia en la obra. (Figura 2.7).

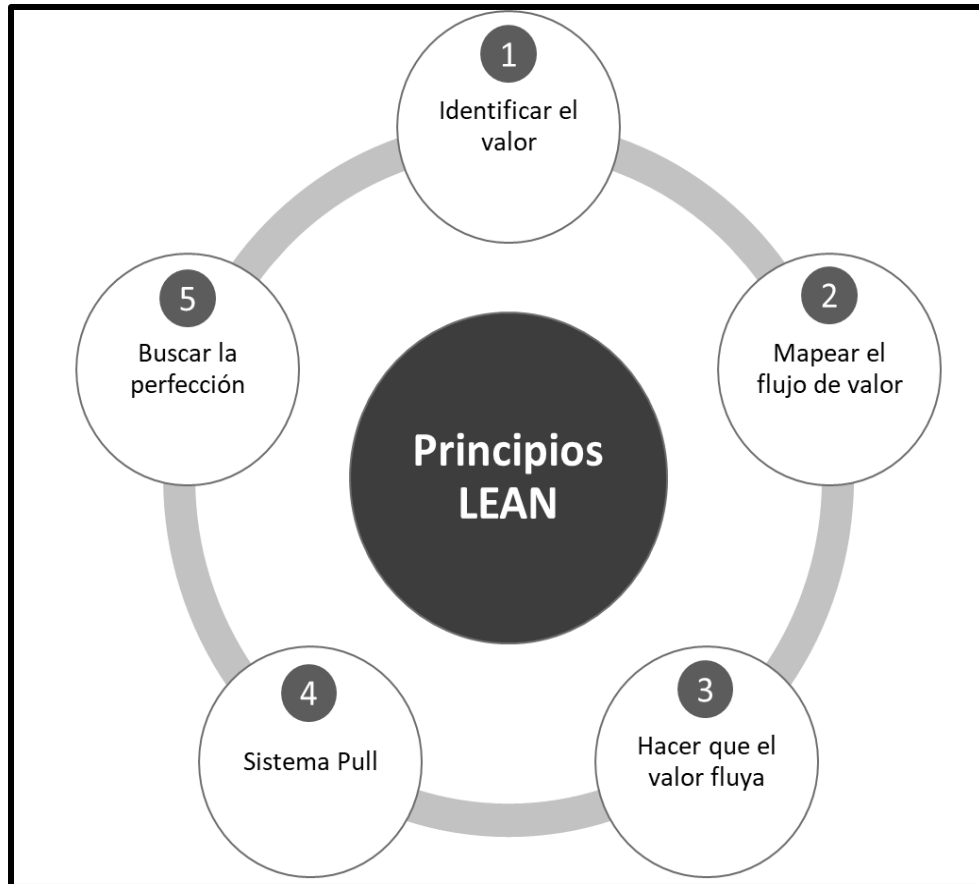


Figura 2.7 Principios LEAN

Recuperado de: <https://www.e-zigurat.com/es/blog/ventajas-de-lean-en-la-construccion/>

Capacitación y motivación del personal

Un equipo bien capacitado y motivado trabaja de manera más eficiente, reduciendo errores y tiempos de inactividad. Invertir en la formación continua del personal y en técnicas de motivación puede resultar en una ejecución más rápida y de mayor calidad.

Contratación de mano de obra especializada

Para tareas críticas o altamente técnicas, la contratación de mano de obra especializada puede acelerar el progreso del proyecto y garantizar que se cumplan los estándares de calidad, lo que a su vez reduce el tiempo necesario para completar esas fases del proyecto.

Optimización de turnos de trabajo

En proyectos con plazos ajustados, implementar turnos de trabajo que permitan una construcción continua puede ser una estrategia eficaz para reducir el tiempo total de ejecución.

La combinación de una planificación y programación detalladas, el uso de software especializado y una gestión eficiente de recursos son elementos clave para optimizar los tiempos en la construcción. Estas técnicas permiten anticipar problemas, coordinar las actividades de manera más eficiente y asegurar que los recursos se utilicen de forma óptima, lo que contribuye al éxito del proyecto en términos de tiempo, costo y calidad.

Planificación y programación de tareas

Aunque existen metodologías más recientes y ampliamente difundidas en la gestión de proyectos, como las propuestas del Project Management Institute (PMI, 2021), el enfoque Lean Construction o el sistema Last Planner, su aplicación suele requerir mayores niveles de capacitación técnica, inversión en software especializado o estructuras organizativas más complejas (Ballard, 2020). En contraste, el CPM ofrece una metodología probada, sencilla y adaptable a proyectos de menor escala, lo que lo convierte en una herramienta idónea para contextos como Tetepango, donde predominan la autoconstrucción y los recursos limitados.

2.1.6 Análisis de los beneficios de optimizar el tiempo y los desafíos que pueden surgir durante su implementación en proyectos de construcción.

El tiempo mediante el método de la Ruta Crítica ofrece múltiples ventajas significativas para la gestión de proyectos de construcción (Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Beneficios de la optimización del tiempo

Beneficio	
Reducción de costos	Al optimizar el tiempo del proyecto, se minimizan los retrasos y las ineficiencias, lo que conlleva una disminución en los costos generales. Menos tiempo en obra significa una reducción en gastos indirectos, como alquiler de equipos, salarios del personal, y costos administrativos.
Mejora en la planificación y control	La optimización del tiempo permite una mejor organización de las actividades, lo que facilita una planificación más precisa y un control más eficiente del proyecto. El uso de la Ruta Crítica ayuda a identificar las tareas más críticas y sus dependencias, permitiendo a los gerentes focalizar recursos en las actividades que realmente influyen en el tiempo total del proyecto.
Incremento en la competitividad	Cumplir con los plazos de entrega e incluso completar proyectos antes de tiempo incrementa la reputación de la empresa constructora, haciéndola más competitiva en el mercado. La capacidad de entregar viviendas en plazos más cortos sin comprometer la calidad puede atraer más clientes y generar más oportunidades de negocio.

Mejor utilización de recursos	Al contar con un cronograma optimizado, se asegura una asignación adecuada de los recursos, evitando tiempos muertos o sobrecarga de trabajo. Esto también implica una menor probabilidad de pérdida de materiales o uso ineficiente de equipo.
Minimización de riesgos	Un control más riguroso sobre las actividades críticas y el tiempo total del proyecto permite identificar riesgos tempranamente y desarrollar estrategias para mitigar o evitar problemas que puedan causar retrasos en la ejecución.

Entre los desafíos a los que se enfrenta la implementación de este método los que más destacan se mencionan a continuación (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Desafíos al aplicar el CPM

Desafíos	
Resistencia al cambio	Uno de los principales retos es la resistencia de algunos actores clave del proyecto, como los equipos de trabajo o contratistas, quienes podrían preferir métodos tradicionales. La introducción de técnicas avanzadas de planificación como el método de la Ruta Crítica puede encontrarse con rechazo o falta de comprensión, lo que dificulta su implementación.

Estimaciones inexactas	La precisión en la estimación de tiempos para cada actividad es clave para la efectividad del método. En proyectos de construcción, puede ser complicado prever con exactitud la duración de tareas debido a factores impredecibles como el clima, la disponibilidad de materiales o cambios en el diseño, lo que puede generar variaciones significativas en el cronograma.
Complejidad del proyecto	En construcciones más grandes o complejas, la cantidad de actividades interrelacionadas puede hacer que la creación y seguimiento de la Ruta Crítica se vuelvan un proceso muy detallado y difícil de manejar. Esto podría requerir software especializado y personal con habilidades técnicas avanzadas para gestionar adecuadamente la planificación.
Falta de capacitación	La implementación del método de Ruta Crítica requiere que el personal clave del proyecto, como gerentes y supervisores, esté capacitado en su uso. Sin una capacitación adecuada, existe el riesgo de que se cometan errores en la identificación de actividades críticas o en la asignación de recursos, lo que podría generar retrasos en lugar de optimización.

Presión para completar rápidamente	Si bien optimizar el tiempo tiene ventajas, la presión por completar las actividades más rápido podría llevar a decisiones que comprometan la calidad del trabajo. En algunos casos, los contratistas podrían priorizar la velocidad sobre la calidad, lo que podría afectar el resultado final del proyecto, generando fallas o la necesidad de retrabajos.
--	---

2.1.7 Identificación de brechas y necesidad de investigación.

A pesar de la amplia aplicación del CPM en la industria de la construcción, la literatura revela una falta de estudios específicos en contextos rurales y en proyectos de menor escala, como la construcción de viviendas en localidades como Tetepango, Hidalgo. Esta brecha en la investigación subraya la necesidad de realizar estudios que no solo adapten la técnica de la Ruta Crítica a estos contextos, sino que también exploren su efectividad en la optimización del tiempo en condiciones locales específicas.

A pesar del avance de metodologías modernas de gestión, aún existe una escasez de estudios que analicen específicamente la efectividad del CPM en proyectos de vivienda rural y autoconstruida en América Latina. La mayoría de la literatura se centra en obras de gran escala o en entornos urbanos, dejando de lado contextos como Tetepango, Hidalgo, donde la autoconstrucción sigue siendo predominante (López-Morales, 2022; Ramírez y Herrera, 2020).

2.2. Bases teóricas.

Las bases teóricas de esta investigación se centran en la aplicación de la teoría de la programación de proyectos, con especial énfasis en la técnica de la Ruta

Crítica (CPM). Esta técnica se fundamenta en principios de la teoría de redes y en la gestión del tiempo como un recurso crítico en la planificación y ejecución de proyectos.

2.2.1 Teoría de la programación de proyectos.

La teoría de la programación de proyectos se desarrolló en el contexto de la gestión de operaciones y la investigación de operaciones, y se basa en la premisa de que cualquier proyecto puede descomponerse en una serie de actividades interrelacionadas. Estas actividades deben ser secuenciadas de manera óptima para cumplir con los objetivos del proyecto en términos de tiempo, costo y alcance. Según Roy Rajib (2005), la programación de proyectos permite identificar los cuellos de botella y los puntos críticos en el cronograma, lo que es esencial para la optimización del tiempo.

2.2.2 Método de la Ruta Crítica (CPM) como herramienta.

El método de Ruta Crítica es una herramienta de gestión que abarca la planificación, organización, dirección y control de todas las actividades involucradas en un proyecto, asegurando que se ejecuten dentro de un tiempo clave y con el costo más eficiente.

El método de la Ruta Crítica es una aplicación específica de la teoría de la programación de proyectos. Se basa en la creación de un diagrama de red que represente todas las actividades del proyecto y sus interrelaciones.

La Ruta Crítica es la secuencia de actividades que determina el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto. Cualquier retraso en una actividad de la Ruta Crítica resultará en un retraso del proyecto total. Meredith, Jack R., y Mantel, Samuel J. (2012) destacan que el CPM no solo permite identificar la Ruta Crítica, sino que también proporciona herramientas para analizar las posibles variaciones en los tiempos de las actividades y sus impactos en el cronograma global.

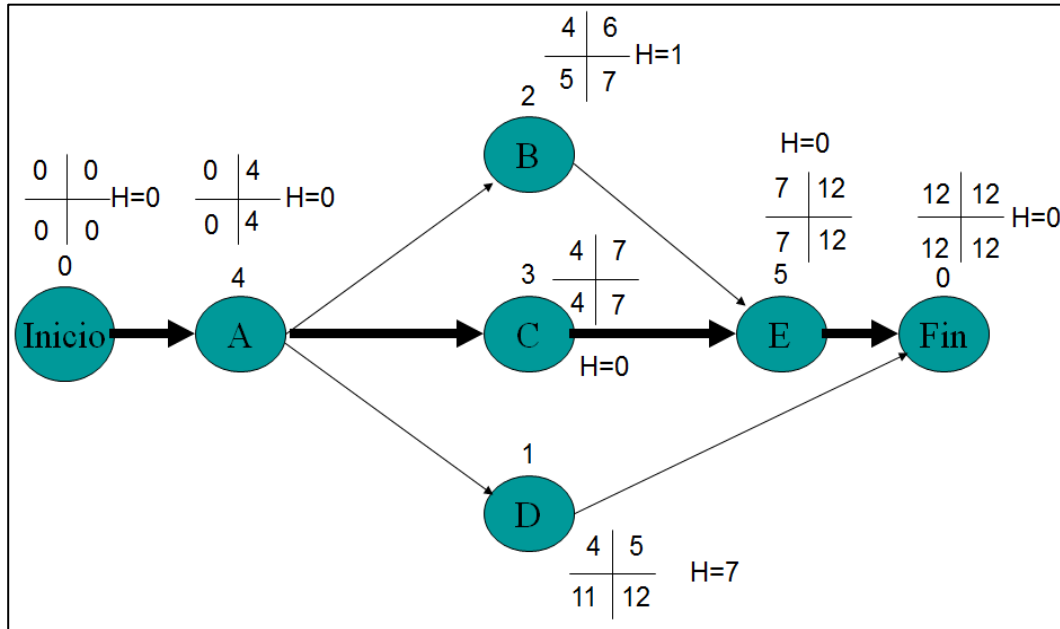


Figura 2.8 Ejemplo de diagrama del método CPM

Recuperado de: <https://swescom.wordpress.com>

2.2.3 Teoría de la gestión de proyectos basada en el tiempo.

Otra base teórica relevante para esta investigación es la gestión de proyectos basada en el tiempo, que subraya la importancia del tiempo como un recurso crítico en cualquier proyecto. Esta teoría propone que la planificación del tiempo debe ser prioritaria, y que la eficiencia temporal es un indicador clave del éxito del proyecto. Según Flynn Malcolm, en el contexto de la construcción, el tiempo se relaciona directamente con los costos y la calidad del proyecto, por lo que su gestión adecuada es fundamental para alcanzar los objetivos del proyecto.

2.2.4 Aplicación de la CPM en la construcción de viviendas en contextos rurales.

En el contexto específico de la construcción de viviendas en áreas rurales como Tetepango, Hidalgo, las bases teóricas mencionadas se complementan con estudios que destacan la importancia de la adaptabilidad y la flexibilidad en la programación de proyectos. Lawrence H. Mills sugiere que, en entornos rurales, la

implementación de la CPM debe considerar factores locales, como la variabilidad en la disponibilidad de materiales y mano de obra, así como las limitaciones tecnológicas. Estas adaptaciones son esenciales para garantizar que la CPM sea efectiva en la optimización del tiempo en estos contextos.

2.3. Marco conceptual.

- **Ruta Crítica (CPM):** La Ruta Crítica es la secuencia de actividades en un proyecto que determina el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto. En otras palabras, es la cadena de actividades que, si se retrasan, retrasarán el proyecto en su totalidad. Esta técnica es fundamental en la gestión del tiempo de proyectos de construcción, ya que permite identificar y gestionar las actividades que son críticas para el éxito del proyecto.

De acuerdo con el Project Management Institute (PMI, 2021), el método de la Ruta Crítica es una de las herramientas más eficaces en la planificación de proyectos, ya que permite priorizar las actividades que realmente impactan en el cronograma general. El CPM establece una red de actividades interrelacionadas, donde cada tarea tiene una duración estimada, y permite calcular el tiempo total del proyecto. La Ruta Crítica está compuesta por aquellas actividades con "holgura cero", es decir, aquellas que no pueden retrasarse sin modificar la fecha final del proyecto.

Este método es particularmente útil en la construcción debido a la interdependencia entre las diferentes etapas del proceso constructivo. En esta investigación, el CPM será aplicado para identificar las tareas críticas en la construcción de casas habitación en Tetepango, lo que permitirá focalizar los esfuerzos en optimizar dichas actividades, reduciendo así el tiempo total del proyecto.

- **Optimización del tiempo:** Este término se refiere al proceso de mejorar la eficiencia temporal en la ejecución de un proyecto. Es un concepto central en

la gestión de proyectos, que implica la mejora del uso del tiempo disponible para llevar a cabo un proyecto, minimizando retrasos y eliminando actividades innecesarias o ineficientes. Optimizar el tiempo no significa simplemente reducir el tiempo total de ejecución del proyecto, sino que implica utilizarlo de manera eficiente para maximizar la productividad y minimizar los costos. En la construcción, esto se traduce en la realización de las actividades de manera secuencial y coordinada, asegurando que no haya tiempo ni recursos perdidos.

Según Lock (2017), optimizar el tiempo en la gestión de proyectos implica un equilibrio entre los recursos disponibles y las restricciones de tiempo, de manera que se logren los objetivos dentro de un cronograma realista. En este sentido, la optimización no es simplemente acelerar las tareas, sino realizar un análisis detallado de las actividades críticas para determinar dónde se puede mejorar la eficiencia. En el contexto de esta tesis, la optimización del tiempo busca reducir los periodos de construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, sin comprometer la calidad de la edificación.

- **Construcción de casa-habitación:** se refiere al proceso de edificación de viviendas destinadas a uso habitacional, que incluye desde el diseño arquitectónico hasta la entrega de la vivienda terminada al cliente. La construcción de viviendas unifamiliares es un proceso que puede variar en complejidad dependiendo de factores como el diseño, los materiales, el presupuesto y las normativas locales. En proyectos de vivienda, el tiempo es un recurso crítico, ya que los plazos de entrega suelen ser estrictos y cualquier retraso puede generar sobrecostos.

Según Ogunlana y Olomolaiye (2006), la construcción de viviendas enfrenta varios retos, entre ellos la coordinación eficiente de diferentes equipos de trabajo (arquitectos, ingenieros, albañiles, proveedores de

materiales), así como la gestión adecuada de los recursos y del tiempo. Además, en proyectos de construcción de vivienda, es esencial garantizar la calidad de la edificación, cumpliendo con las normativas locales y asegurando la satisfacción del cliente.

- **Gestión de proyectos:** Es un conjunto de metodologías, procesos, herramientas y técnicas que se utilizan para planificar, ejecutar y controlar los recursos necesarios con el fin de cumplir objetivos específicos en un proyecto dentro de un periodo determinado y con las restricciones de costo y calidad. Este proceso permite organizar los esfuerzos de un equipo o una organización para alcanzar los objetivos propuestos de manera eficaz, eficiente y alineada con las expectativas del cliente o de las partes interesadas.

Según Hendrickson (2008), una gestión de proyectos de construcción eficiente implica el uso de técnicas avanzadas de planificación y control, como el método de la Ruta Crítica, para asegurar que las actividades se realicen dentro del plazo establecido y con los recursos necesarios. Además, es fundamental tener un control constante del avance del proyecto para identificar posibles retrasos y realizar ajustes en el cronograma si es necesario.

En el contexto de esta tesis, la gestión de proyectos de construcción se centra en la optimización del tiempo a través del uso del CPM, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo.

Esto implica una adecuada planificación de todas las actividades del proyecto, desde la adquisición de materiales hasta la coordinación de los distintos equipos de trabajo.

- **Costo paramétrico:** Es un método de estimación de costos que utiliza relaciones matemáticas basadas en parámetros o variables clave que influyen

en el costo de un proyecto o producto. Este enfoque se basa en el uso de datos históricos y fórmulas que relacionan estos parámetros con los costos, lo que permite realizar estimaciones rápidas y razonablemente precisas.

En el contexto de la construcción, el costo paramétrico se determina a partir de variables como el área construida, el tipo de materiales utilizados, el número de niveles, entre otros. A través de estas variables, se puede obtener una estimación aproximada del costo total del proyecto sin necesidad de realizar un análisis detallado de cada componente individual (Smith, 2020).

2.3.1 Contexto de la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo.

Tetepango es un municipio localizado en el estado de Hidalgo, México. Su desarrollo urbano y el crecimiento de su población han generado un aumento en la demanda de vivienda en la región. Este contexto presenta tanto oportunidades como desafíos para la construcción de viviendas.

2.4. Discusión sobre cómo la metodología de la Ruta Crítica puede ser adaptada y aplicada.

La metodología de la Ruta Crítica (CPM) es esencial en la gestión de proyectos de construcción, permitiendo planificar y controlar las actividades necesarias para completar un proyecto en un tiempo determinado. En el contexto de la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo, su aplicación requiere una adaptación cuidadosa a las características y necesidades locales.

Es fundamental realizar un análisis del entorno, que incluya factores geográficos, climáticos, sociales y normativos. Tetepango presenta una topografía variada, con terrenos montañosos y algunas áreas de difícil acceso, lo que puede influir en la selección de técnicas de construcción y en la logística de transporte de materiales. La metodología CPM debe contemplar estas características para programar adecuadamente las actividades, como el desmonte y la nivelación del

terreno, antes de iniciar la construcción. Además, la proximidad a fuentes de recursos naturales, como agua y materiales de construcción, debe ser considerada para minimizar costos y tiempos de entrega.

Además, la estimación precisa de tiempos y recursos es fundamental. La disponibilidad de mano de obra local y materiales puede afectar significativamente los plazos de construcción.

Utilizar datos históricos de proyectos previos y fomentar la capacitación de la mano de obra local contribuirá a una mejor planificación y ejecución, garantizando que se mantengan los estándares de calidad. La gestión de riesgos también juega un papel clave en la aplicación de la CPM. La identificación de riesgos específicos, como retrasos en la entrega de materiales o condiciones climáticas adversas, permitirá desarrollar planes de contingencia que minimicen los impactos negativos en el cronograma del proyecto.

La CPM facilita el monitoreo continuo del avance del proyecto, lo que es esencial en un entorno donde las condiciones pueden cambiar rápidamente. Implementar herramientas digitales para el seguimiento del progreso aumentará la eficiencia y la visibilidad del proyecto. Realizar reuniones periódicas con el equipo de trabajo permitirá evaluar el estado de las actividades críticas y realizar ajustes en tiempo real.

Otro elemento importante es la colaboración y comunicación entre todos los involucrados. Establecer canales de comunicación claros asegurará que todos los actores estén informados sobre los avances y cambios en el proyecto. La participación de la comunidad puede fomentar un ambiente de cooperación y confianza, lo que es esencial para el éxito de los proyectos habitacionales.

Finalmente, la sostenibilidad y la eficiencia energética deben ser consideradas en la planificación de las actividades críticas. Integrar prácticas de construcción sostenible no solo beneficiará al medio ambiente, sino que también podrá resultar en

ahorros significativos a largo plazo para los habitantes de las viviendas. La implementación de diseños que favorezcan la eficiencia energética, como la orientación de las viviendas para aprovechar la luz natural y la ventilación, contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

En conclusión, la adaptación de la metodología de la Ruta Crítica en la construcción de viviendas en Tetepango representa una oportunidad valiosa para optimizar la gestión de proyectos en un contexto específico.

Al considerar las particularidades locales y adoptar un enfoque colaborativo y sostenible, se puede maximizar la eficiencia y efectividad en la ejecución de proyectos. La CPM no solo contribuirá al desarrollo habitacional en Tetepango, sino que también beneficiará a la comunidad en su conjunto, mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

2.4.1 Identificación de factores geográficos, climáticos, sociales y normativos que pueden influir en la aplicación de la Ruta Crítica en Tetepango.

Factores geográficos

1. **Topografía:** La topografía de Tetepango puede presentar desafíos para la construcción. Terrenos irregulares, pendientes pronunciadas o áreas con



acceso limitado pueden influir en el tipo de construcción y en las técnicas utilizadas (Figura 2.9).

Figura 2.9 Fotografías representativas de la topografía de Tetepango

Estos aspectos deben ser considerados al planificar las actividades críticas en la Ruta Crítica.

2. **Disponibilidad de recursos naturales:** La cercanía a recursos como agua y materiales de construcción puede facilitar o complicar el desarrollo del proyecto. Si los materiales deben ser transportados desde lugares lejanos, esto podría afectar los tiempos de ejecución y costos.
3. **Ubicación y accesibilidad:** La proximidad a carreteras principales, servicios públicos y centros de suministro de materiales es crucial. Si el sitio de construcción está en áreas de difícil acceso, puede generar retrasos en la entrega de materiales y en el movimiento de maquinaria, lo que afectaría la programación del proyecto (Figura 2.10).



Figura 2.10 Fotografías representativas de accesos a Tetepango

Factores climáticos

1. **Estaciones y Condiciones Climáticas:** El clima en Tetepango, incluyendo las lluvias estacionales, puede afectar significativamente la programación de actividades. La temporada de lluvias puede causar retrasos en la construcción y dañar obras en progreso, lo que debe ser considerado en la planificación de la Ruta Crítica (Figura 2.11).



Figura 2.11 Fotografía representativas del clima de Tetepango

2. **Temperaturas extremas:** Las altas temperaturas pueden limitar el tiempo que los trabajadores pueden estar expuestos al sol, afectando la productividad. Esto debe ser tomado en cuenta al programar las actividades críticas que requieren mayor mano de obra.

Factores sociales

1. **Características de la población local:** La demografía de Tetepango, incluidas las habilidades y la disponibilidad de la mano de obra local, influye en la ejecución de los proyectos. Si hay una falta de mano de obra calificada, puede ser necesario implementar capacitación, lo que podría extender los tiempos de construcción.
2. **Aceptación comunitaria:** La percepción y aceptación de los proyectos de construcción por parte de la comunidad local son factores importantes. La oposición de la comunidad puede generar retrasos y conflictos que afecten la

Ruta Crítica. Involucrar a la comunidad en el proceso de planificación puede mitigar estos problemas.

3. **Costumbres y prácticas locales:** Las tradiciones y prácticas locales pueden influir en la forma en que se llevan a cabo las construcciones. Comprender y respetar estas prácticas es esencial para asegurar la cooperación de la comunidad y el éxito del proyecto.

Factores normativos

1. **Regulaciones de construcción:** Las normativas locales y estatales que rigen la construcción en Tetepango pueden influir significativamente en los tiempos y actividades del proyecto. El cumplimiento de regulaciones como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las disposiciones de la Ley de Planeación Urbana del Estado de Hidalgo puede implicar la obtención de permisos, el cumplimiento de estándares de seguridad estructural y la adopción de medidas ambientales específicas. Estos procesos pueden requerir tiempo adicional, lo que podría impactar en la ejecución del proyecto.
2. **Políticas de desarrollo urbano:** Las políticas del gobierno local respecto al desarrollo urbano y la construcción de viviendas pueden establecer límites en cuanto a la densidad, uso de suelo y tipos de construcción permitidos. Estas regulaciones deben ser comprendidas y consideradas en la planificación de la Ruta Crítica.
3. **Inspecciones y supervisión:** La frecuencia y rigor de las inspecciones pueden afectar el cronograma del proyecto. Si las regulaciones requieren inspecciones frecuentes, esto podría causar retrasos y modificaciones en la Ruta Crítica.

La aplicación de la metodología de la Ruta Crítica en la construcción de viviendas en Tetepango está influenciada por una variedad de factores geográficos, climáticos, sociales y normativos. Considerar estos factores en la fase de planificación y

programación es esencial para garantizar la efectividad de la metodología y el éxito del proyecto. Adaptar la Ruta Crítica a las condiciones locales no solo optimiza el tiempo y los recursos, sino que también promueve un desarrollo más armonioso con la comunidad y el entorno.

Capítulo 3: Metodología.

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis de la optimización del recurso tiempo por medio de la Ruta Crítica en la construcción de casas habitación de interés medio autoconstruidas en Tetepango, Hidalgo. El estudio se enfoca en viviendas con dimensiones que varían entre 54 y 104 metros cuadrados, siendo las más comunes las de 80 metros cuadrados. A continuación, se detallan el diseño de la investigación, la población y muestra, los instrumentos de recolección de datos, los procedimientos seguidos y el análisis de datos.

La selección de la metodología utilizada en esta investigación se sustenta en diversos autores que han demostrado la efectividad de los métodos aplicados en estudios similares. La elección de la técnica de la Ruta Crítica (CPM) como herramienta principal de análisis responde a su comprobada utilidad en la planificación y control de proyectos de construcción. Según Kerzner (2018), la metodología CPM permite identificar las actividades críticas, calcular holguras y optimizar el tiempo de ejecución, constituyendo un recurso fundamental para la gestión eficiente de proyectos. De manera similar, Harker y Murphree (1989) destacan que la Ruta Crítica ofrece un marco analítico que no solo facilita la estimación de la duración total de un proyecto, sino que también mejora la asignación de recursos.

En cuanto al uso de modelos de costos paramétricos, este enfoque ha sido ampliamente validado en investigaciones relacionadas con la construcción, ya que posibilita estimar los costos de manera ágil y confiable a partir de variables como el área construida. AACE (Cost Engineering & Project Control Professionals) International (2019) señala que los costos paramétricos son especialmente útiles en etapas tempranas del proyecto, cuando se requiere una aproximación precisa basada en proyectos comparables. Asimismo, autores como Molenaar (2005) han resaltado que la estimación paramétrica es una técnica adecuada para estudios de factibilidad en edificaciones de pequeña y mediana escala.

Respecto al uso de entrevistas semiestructuradas, Creswell y Poth (2018) subrayan que este instrumento es fundamental en estudios aplicados, pues permite obtener información cualitativa detallada directamente de los actores involucrados. Esto justifica su aplicación en el presente trabajo, donde la experiencia de constructores y proveedores locales en Tetepango constituye un insumo esencial para validar los tiempos de construcción y contextualizar los resultados del modelo CPM.

De manera complementaria, la elaboración de cronogramas de actividades es una práctica consolidada en la gestión de proyectos. Según el Project Management Institute (PMI, 2021), la programación mediante cronogramas estructurados facilita el seguimiento y control de los proyectos, además de constituir una herramienta clave para la aplicación del método de la Ruta Crítica.

En suma, los métodos e instrumentos empleados en este estudio no solo responden a la experiencia empírica de la construcción en Tetepango, sino que también se encuentran respaldados en la literatura académica y técnica, lo que asegura la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.1. Diseño de la investigación.

El diseño de esta investigación es no experimental con un enfoque descriptivo y correlacional, ya que se busca describir las características de la construcción de viviendas autoconstruidas en Tetepango y analizar la relación entre el tamaño de las viviendas, el tiempo de construcción y los costos paramétricos.

El análisis se basa en la metodología de la Ruta Crítica para determinar el tiempo de ejecución de cada actividad en la construcción de viviendas, identificando aquellas que son críticas y estableciendo las holguras o márgenes de tiempo que pueden retrasarse sin afectar el tiempo total del proyecto. Este enfoque permite optimizar el uso de los recursos y mejorar la planificación y control de proyectos de construcción en un contexto local.

El diseño de la investigación es adecuado para responder a la pregunta de investigación relacionada con:

1. La relación entre el tamaño de las viviendas (en metros cuadrados) y los costos de construcción estimados mediante modelos paramétricos.
2. La identificación de actividades críticas y su impacto en el tiempo total de construcción.
3. El análisis de las holuras y la flexibilidad que pueden ofrecer a los constructores en la región de Tetepango.

3.2. Población y muestra.

La población objetivo de este estudio incluye todas las viviendas de interés medio autoconstruidas en el municipio de Tetepango, Hidalgo, durante los últimos cinco años. Estas viviendas varían en tamaño, construcción y costos, pero comparten características similares en términos de materiales, técnicas de construcción y acabados.

Para la selección de la muestra se empleó un muestreo intencional. Se seleccionó un tipo de vivienda que representa la construcción promedio en la zona, con un área de 80 metros cuadrados, ya que este es el tamaño más común dentro de la población objeto de estudio. Esta vivienda seleccionada cuenta con:

- Cimentación de mampostería.
- Muros de block.
- Techos de losa maciza.
- Acabados sencillos.
- Instalaciones eléctricas, sanitarias, hidráulicas y de gas.

Este tipo de vivienda es representativo no solo por su tamaño y características técnicas, sino porque refleja las condiciones de construcción más comunes entre las viviendas autoconstruidas en la región. Asimismo, al enfocarse en este tipo de

vivienda, es posible generalizar los resultados y conclusiones a un amplio grupo de viviendas similares.

3.3. Instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de datos, se emplean los siguientes instrumentos:

1. **Cronograma de actividades:** Se elabora un cronograma detallado con la metodología de la Ruta Crítica, que abarque todas las fases del proceso constructivo desde la cimentación hasta los acabados finales. Este instrumento permitirá determinar el tiempo de ejecución de cada actividad, identificando las tareas críticas y las holguras disponibles (Figura 3.1).

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	
PROYECTO:	Fecha inicio:
ACTIVIDAD \ FECHA	Inicio
Actividad 1	
Actividad 2	
Actividad 3	
Actividad 4	
Actividad 5	
Actividad 6	

Ayuda Cronograma (día) Cronograma (mes) +

Figura 3.1 Formato de cronograma de actividades

Recuperado de: <https://www.tuplantillaexcel.com>

2. **Cálculo de costos paramétricos:** Se utiliza un modelo de costos paramétricos que relacione el tamaño de las viviendas (metros cuadrados) con los costos directos de cada etapa constructiva, desde los cimientos hasta las instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias y de gas. Estos costos se obtendrán de fuentes locales y bases de datos de costos de construcción.

3. **Entrevistas semiestructuradas:** Se realizan entrevistas con distribuidores de materiales y constructores locales para obtener información cualitativa sobre las actividades críticas y los tiempos de ejecución típicos en la construcción de viviendas con las características mencionadas, para generar un mejor panorama que facilite la comparación de los tiempos de autoconstrucción con el método tradicional de la zona y aplicando la metodología CPM.

3.4. Procedimientos.

El proceso de recolección de datos seguirá los siguientes pasos:

1. **Selección de la vivienda tipo:** Se seleccionará una casa representativa de 80 metros cuadrados que cumpla con las características mencionadas en la muestra.

Se recopila información detallada sobre los tiempos de cada fase constructiva y los costos asociados (Figura 3.2).





Figura 3.2 Fotografías tomadas de casas representativas de Tetepango, Hgo.

2. **Análisis de la Ruta Crítica:** Utilizando software especializado, tal es el caso de Microsoft Project 2021, se generará un diagrama de red que permitirá identificar las actividades críticas y las holguras asociadas a cada una de ellas. Se calcularán los tiempos de ejecución más cortos posibles y las variaciones permitidas en cada actividad sin afectar el tiempo total del proyecto (Figura 3.3).

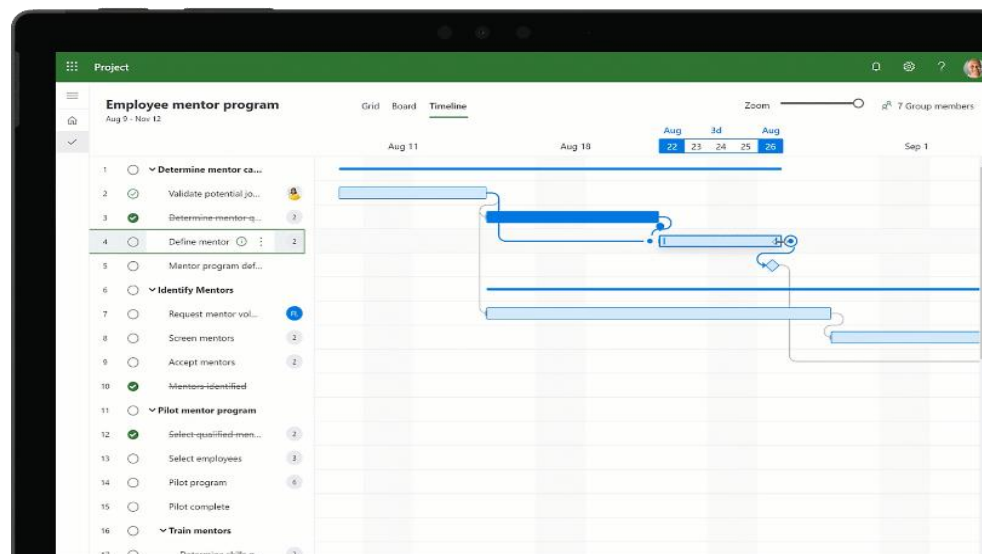


Figura 3.3 Interfaz general de Microsoft Project

Recuperado de: <https://www.alpha-consultoria.com/wp-content>

3. **Recolección de costos paramétricos:** Los datos sobre costos paramétricos se obtendrán a través de presupuestos reales y estimaciones proporcionadas por contratistas locales. Estos costos incluirán materiales, mano de obra y otros recursos necesarios para la construcción de viviendas de 54 a 104 metros cuadrados.
4. **Cálculo de holguras:** Se determinará la holgura de cada actividad para evaluar el margen de flexibilidad que ofrece el proyecto. Esto permitirá analizar qué actividades pueden retrasarse sin afectar el plazo final del proyecto.

3.5. Análisis de datos.

El análisis de los datos recolectados se realizará mediante los siguientes métodos:

1. **Análisis de la Ruta Crítica (CPM):** A través de la Ruta Crítica, se identificarán las actividades que determinan el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto. Se compararán diferentes escenarios en función de las holguras y las variaciones posibles en el tiempo de ejecución de cada actividad.
2. **Relación entre tamaño y costo:** Se analizará la relación entre el tamaño de las viviendas y los costos de construcción, basándose en el modelo de costos paramétricos. Para ello, se elaborarán comparaciones de costos en viviendas de 54, 80 y 104 metros cuadrados, lo que permitirá identificar las diferencias de costos por metro cuadrado.
3. **Análisis descriptivo y correlacional:** Los datos cuantitativos obtenidos serán sometidos a un análisis descriptivo, incluyendo medidas de tendencia central y dispersión. Se aplicará un análisis correlacional para determinar la relación entre el tamaño de las casas y los costos, y cómo estos afectan el tiempo total de construcción según la Ruta Crítica.

4. **Validación de tiempos:** Finalmente, se validarán los tiempos estimados mediante el cronograma de la Ruta Crítica, comparando los resultados obtenidos con los tiempos reales reportados por los contratistas.

Capítulo 4: Resultados y discusión.

4.1 Resultados.

4.1.1 Evaluación de partidas

En este apartado se presentan los datos obtenidos a partir del análisis de seis tipos de construcciones con superficies de 56, 64, 72, 80, 92 y 104 metros cuadrados.

Estas construcciones fueron evaluadas en función de las principales partidas:

- Cimentación
- Estructura
- Fachadas y techados
- Albañilería y acabados
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Instalación eléctrica y de gas.

Para cada partida, se analizaron tres factores principales:

1. **Cantidades promedio**

Se calcularon las cantidades de materiales necesarios para completar cada partida en cada uno de los tipos de construcción.

2. **Duración por partida**

Se registró el tiempo promedio necesario para finalizar cada partida en las seis construcciones.

3. **Rendimiento:**

Se evaluó el rendimiento de las actividades relacionadas con cada partida, determinando el tiempo necesario para completar una unidad de

trabajo (por ejemplo, metros cúbicos de cimentación, metros cuadrados de techado, etc.).

Los datos obtenidos de estas evaluaciones se estructuraron en tablas y gráficos que permiten visualizar las diferencias en cantidad de materiales, duración y rendimiento entre los seis tipos de construcciones. Esta presentación gráfica y tabular facilita la comparación entre los distintos tamaños de construcción (Anexos, Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6).

Posteriormente, utilizando los datos anteriores, se calculó la Ruta Crítica de cada uno de los proyectos a través del programa de Microsoft Project. La Ruta Crítica representa la secuencia de actividades que determinan el tiempo total del proyecto, es decir, aquellas que, si se retrasan, provocarán un retraso en la fecha final de la construcción. El cálculo de la Ruta Crítica permitió identificar las actividades con holgura (actividades que pueden retrasarse sin afectar la duración total del proyecto).

Además, se evaluaron los costos de las construcciones en UDIS (Unidades de Inversión) utilizando el valor de la UDI del día 23 de junio de 2024 (8.124624), según los parámetros establecidos en el libro *"Costos de metro cuadrado de construcción". Volumen II: Modelos, parámetros y presupuestos* de Leopoldo Varela Alonso. A partir de esta evaluación, se calculó el costo por metro cuadrado de cada uno de los seis tipos de construcciones.



Figura 4.7 Valor del UDI

Recuperado de: <https://ikiwi.com.mx>

Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre los datos obtenidos, en particular, la relación entre los metros cuadrados de construcción y la duración de la Ruta Crítica. Con los datos de la Ruta Crítica y la holgura de las actividades, se pudo calcular el costo-beneficio para cada construcción. Este análisis final permitió identificar las relaciones entre la magnitud de las construcciones, la duración total de las actividades y los costos asociados, con el fin de evaluar la eficiencia de cada proyecto en términos de duración y costo.

Este análisis exhaustivo de las cantidades, duraciones y rendimientos, así como de los costos y la Ruta Crítica, proporciona una base sólida para la toma de decisiones en futuros proyectos de construcción similares.

4.1.2. Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos permiten validar la hipótesis planteada en esta investigación. Se identificó que la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM) en la planificación y ejecución del proyecto de construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, permite reducir de manera cuantitativa y comprobable el tiempo total de construcción en comparación con los métodos tradicionales. El análisis realizado a partir de la modelación con CPM arrojó una disminución promedio de hasta un 15% en la duración total del proyecto, lo que representa una optimización significativa en términos de tiempo. Este hallazgo cuantitativo respalda la efectividad de la CPM como herramienta de gestión de proyectos en contextos de autoconstrucción, confirmando que su correcta implementación contribuye a una ejecución más eficiente, oportuna y controlada, cumpliendo con los plazos establecidos y mitigando los retrasos que comúnmente afectan este tipo de obras.

La gestión eficiente del tiempo en proyectos de construcción es un factor clave para garantizar no solo la finalización dentro de los plazos estipulados, sino también la optimización de los recursos y la minimización de los costos. En el contexto de la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, surge la necesidad de implementar herramientas y metodologías que permitan mejorar la planificación y

programación de las actividades, especialmente en un entorno donde la demanda de viviendas de diferentes tamaños y especificaciones

El objetivo general de esta investigación fue optimizar el tiempo total de construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo a través del método de la Ruta Crítica.

En este capítulo se presenta un análisis detallado de las actividades críticas identificadas dentro del proceso de construcción, la aplicación de la Ruta Crítica para optimizar tiempos, y una evaluación comparativa entre la implementación del CPM y los métodos tradicionales de planificación utilizados en la región.

Tamaño de las construcciones

Este estudio incluye el análisis de seis tipos de viviendas de diferentes tamaños, 56, 64, 72, 80, 92 y 104 metros cuadrados, (Tabla 4.1 y figura 4.8).

Tabla 4.1 Tamaños de las construcciones analizadas

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	TAMAÑO M ²
T-1	56
T-2	64
T-3	72
T-4	80
T-5	92
T-6	104

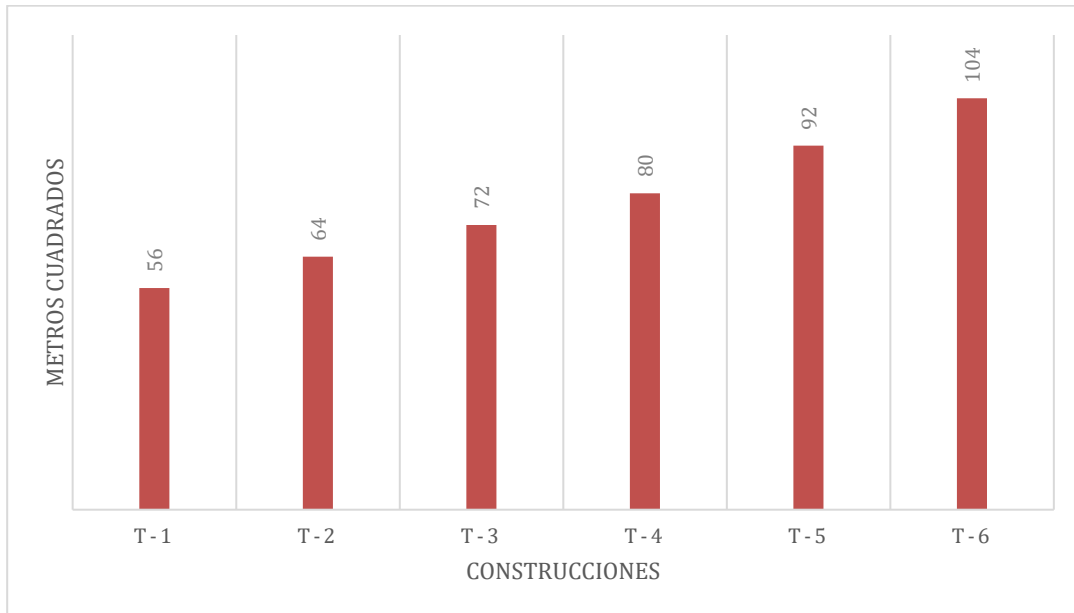


Figura 4.8 Tamaño en m² de las casas analizadas

Duración de las construcciones

La gráfica presentada muestra la duración en días de los procesos de construcción para seis tipos diferentes de viviendas en Tetepango, Hidalgo, obtenidos a través de la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM), utilizando Microsoft Project como herramienta de planificación y programación. Los seis tipos de viviendas analizados corresponden a 56, 64, 72, 80, 92 y 104 metros cuadrados, lo que permite observar cómo el tamaño de la construcción influye en el tiempo total requerido para completar el proyecto.

Cada tipo de vivienda ha sido planificada siguiendo un desglose detallado de las actividades críticas, lo que permite identificar de manera clara las etapas del proceso que tienen un mayor impacto en la duración total de la obra.

Análisis de la Duración

Casas de 56 metros cuadrados: Este tipo de construcción es el que presenta la menor duración, con un total de 75 días. Las actividades críticas aquí están asociadas principalmente con la cimentación, instalación de redes hidráulicas y

eléctricas, así como con los acabados internos, que deben gestionarse de manera eficiente para mantener el cronograma dentro de los límites planificados.

Casas de 104 metros cuadrados: Este tipo de construcción es el que presenta la mayor duración, con un total de 109 días (Tabla 4.2 y figura 4.9).

Tabla 4.2 Duración de las construcciones analizadas

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	DURACIÓN (DIAS)
T-1	75
T-2	89
T-3	93
T-4	97
T-5	100
T-6	109

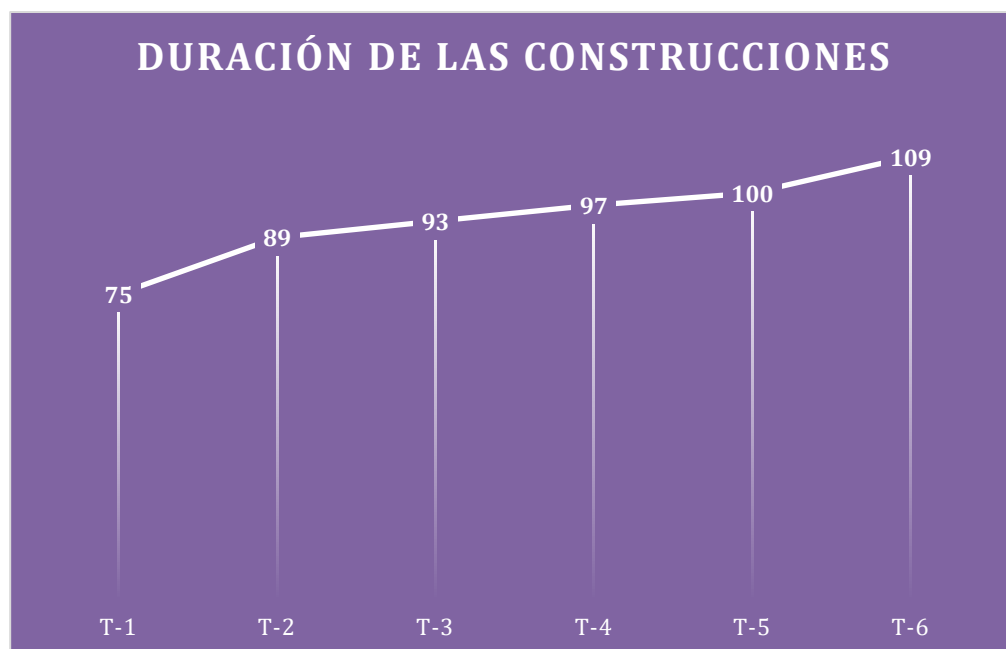


Figura 4.9 Duración de las construcciones analizadas

La gráfica no solo ilustra la relación entre el tamaño de la vivienda y el tiempo de construcción, sino también el valor de utilizar herramientas avanzadas como la Ruta Crítica para mejorar la eficiencia en la planificación y ejecución de los proyectos de construcción. Este enfoque garantiza una mejor gestión de los recursos y una reducción significativa en los tiempos de entrega, lo que se traduce en un beneficio económico y operativo tanto para los constructores como para los clientes.

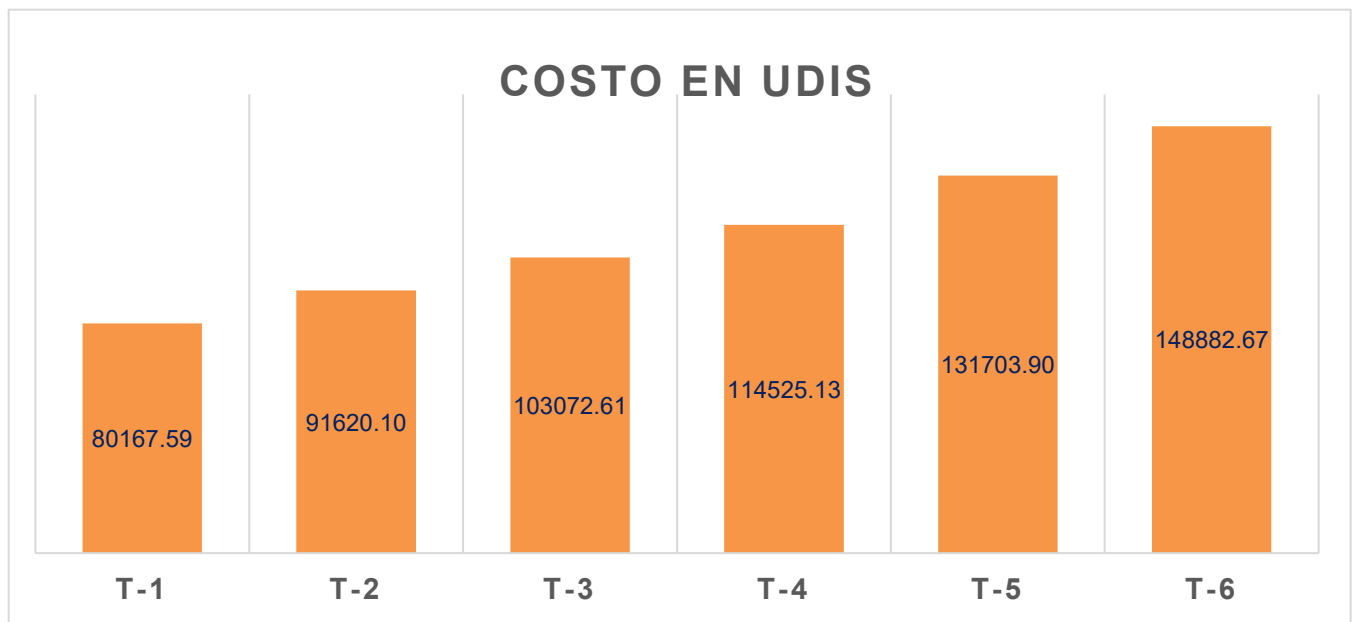
Costos

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que el tiempo de construcción aumenta de forma proporcional al tamaño de la casa. Sin embargo, este incremento en la duración también se ve reflejado en el costo calculado en UDIS (Tabla 4.3 y figura 4.10).

Tabla 4.3 Duración de las construcciones analizadas

COSTO	
CONSTRUCCIÓN	(UDIS)
T-1	80,167.59
T-2	91,620.10
T-3	103,072.61
T-4	114,525.13
T-5	131,703.90
T-6	148,882.67

Figura 4.10 Tamaño en m² de las casas analizadas



Duración y superficie

Esta gráfica muestra que a medida que se incrementa la superficie de la vivienda, el tiempo de construcción aumenta de forma proporcional, evidenciando que el tamaño de la casa es un factor determinante en la duración del proyecto (Figura 4.11 y tabla 4.4).

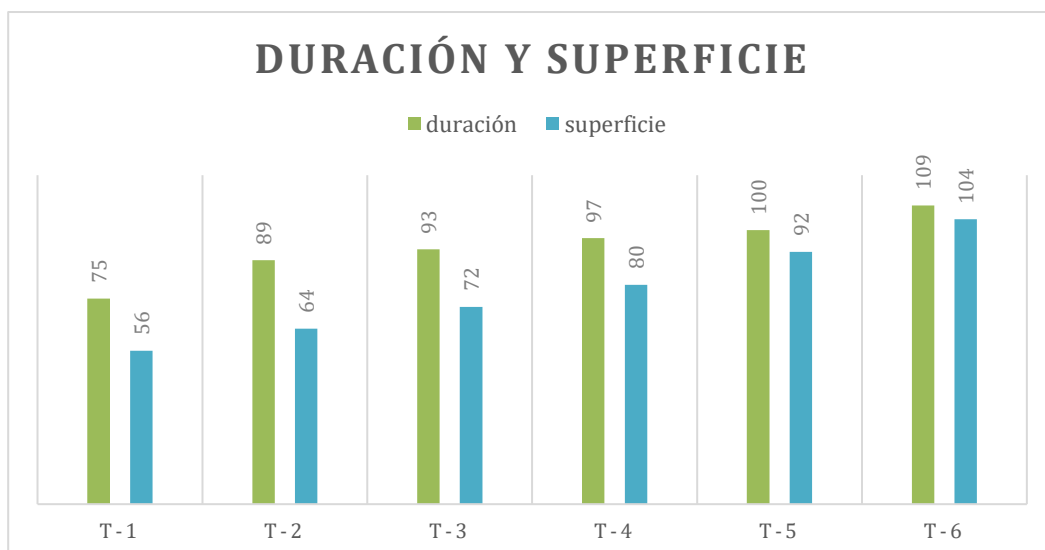


Figura 4.11 Duración y superficie

Comparación de la duración de construcción y la superficie de las casas analizadas

Tabla 4.4 Duración de actividades

	Construcción					
Actividades	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Actividad 1	1	5	5	3	1	3
Actividad 2	2	1	2	2	1	3
Actividad 3	8	4	8	12	11	9
Actividad 4	2	3	3	2	2	2
Actividad 5	6	6	4	6	5	3
Actividad 6	8	10	8	9	7	5

La gráfica confirma que existe una relación directa entre el tamaño de las casas y la duración de su construcción. Este análisis permite prever con mayor exactitud los tiempos necesarios para completar cada tipo de vivienda y ajustar los recursos y la planificación de manera eficiente, optimizando así los cronogramas a través de la metodología de la Ruta Crítica. Además, esta información es útil para la toma de decisiones en proyectos futuros, tanto en la fase de diseño como en la de ejecución.

Relación superficie con duración

Se muestra la relación proporcional entre la superficie de las viviendas (medida en metros cuadrados) y la duración de su construcción (medida en días), revelando un comportamiento predecible: a medida que aumenta la superficie de las casas, la duración del proceso constructivo también aumenta de manera proporcional.

La gráfica representa los seis tipos de viviendas estudiadas, con superficies que van desde 56 hasta 104 metros cuadrados. Cada punto en la gráfica indica el tiempo total de construcción en días, determinado por la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM). Se observa una tendencia lineal, en la que las casas de menor tamaño requieren un tiempo de construcción más corto, mientras que las de mayor superficie tienen tiempos de ejecución más largos (Tabla 4.5 y figura 4.12).

Tabla 4.5 Relación superficie / duración

SUPERFICIE / DURACIÓN	
Avance	m2/día
T-1	0.75
T-2	0.72
T-3	0.77
T-4	0.82
T-5	0.92
T-6	0.95

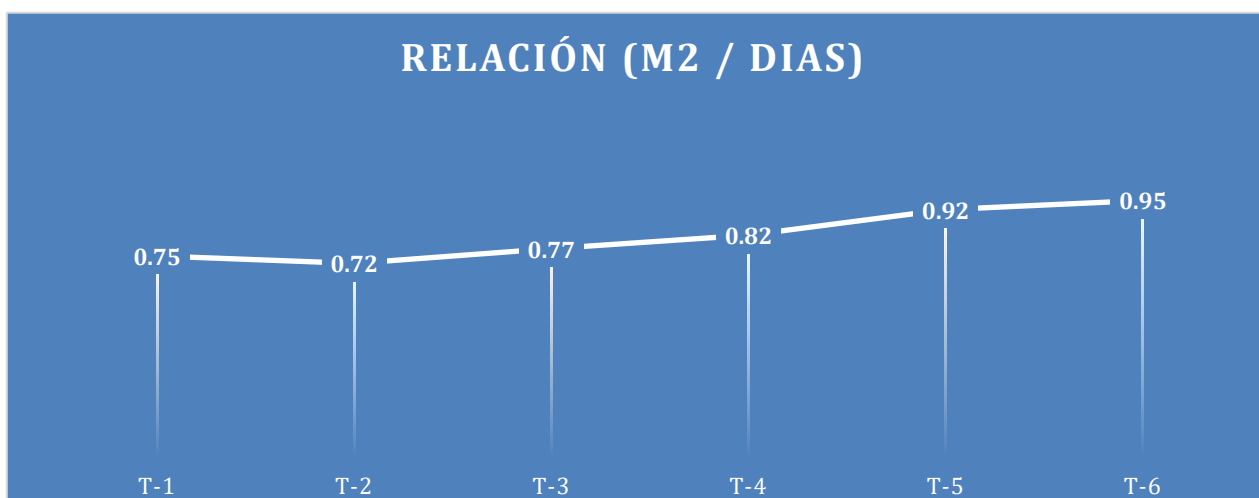


Figura 4.12 Representación de la relación superficie / duración

Holguras

La tabla y la gráfica presentadas muestran las holguras permitidas para seis tipos diferentes de construcciones, con superficies que varían entre 56 y 104 metros cuadrados, y las holguras asociadas a las seis actividades principales en cada proyecto. Estas holguras representan el tiempo adicional permitido para completar una actividad sin afectar la duración total del proyecto, según el análisis de la metodología de la Ruta Crítica (CPM).

La tabla organiza las holguras permitidas por actividad, las cuales varían según el tamaño de la vivienda. Las actividades incluidas son:

- Cimentación
- Estructura
- Fachada y techos
- Albañilería y acabados
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias
- Instalaciones eléctricas y de gas

Además, se muestra la holgura total para cada tipo de construcción, lo que representa el tiempo máximo que se puede retrasar cualquier actividad no crítica sin afectar la fecha final de entrega del proyecto.

Los valores varían según la complejidad de la construcción; por ejemplo, las casas de mayor tamaño, como las de 104 metros cuadrados, tienen una holgura total mayor en comparación con las viviendas más pequeñas, como las de 56 metros cuadrados (figura 4.13 y tabla 4.6).

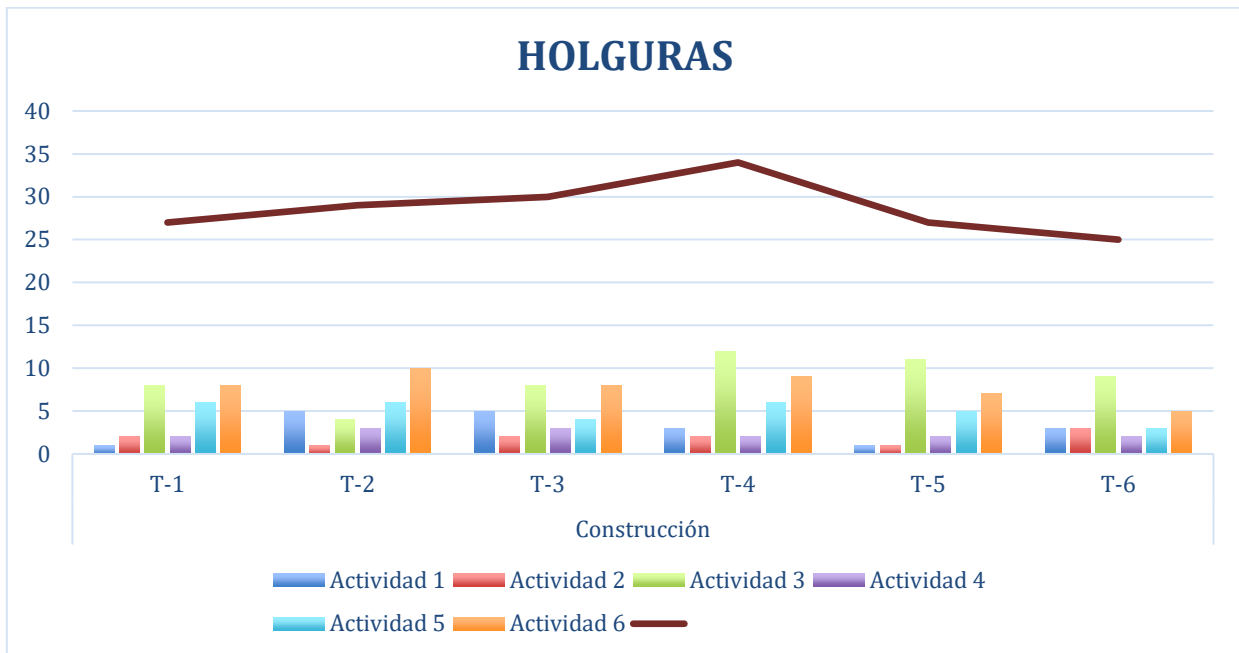


Figura 4.13 Representación de la relación superficie / duración

Tabla 4.6 Holgura total por cada construcción

CONSTRUCCIÓN	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
HOLGURA TOTAL	27	29	30	34	27	25

Costo-beneficio

El análisis se ha realizado en función de las seis actividades clave del proceso de construcción, evaluando el costo-beneficio individual de cada una, así como el total obtenido para cada tipo de vivienda. El proyecto que presenta el mayor costo-beneficio es la casa de 80 m², identificada como la construcción 4.

Análisis del mayor costo-beneficio: Construcción de 80 m²

La construcción de 80 m² (Construcción 4) presenta el mayor costo-beneficio total, con un valor de 10.5. Este rendimiento elevado se debe a varios factores:

- La optimización de los tiempos gracias a la Ruta Crítica fue más eficiente en esta construcción, permitiendo aprovechar mejor las holguras en actividades como la estructura y los acabados.
- Las actividades más costosas, como la cimentación y las instalaciones, obtuvieron los mayores ahorros de recursos sin comprometer la calidad, lo que incrementó significativamente el valor del proyecto.
- La relación entre el tamaño de la vivienda y la eficiencia en el uso de recursos resultó en una mejora notable en la productividad, lo que generó un impacto positivo en el costo-beneficio.

El costo-beneficio se mide como la relación entre los costos incurridos en cada actividad y los beneficios obtenidos en términos de optimización de tiempo, eficiencia de recursos y calidad final de la obra. Cada valor representa la ganancia o ahorro obtenido tras la implementación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM) en la planificación y ejecución de cada actividad (tabla 4.7).

Tabla 4.7 Relación costo-beneficio por cada tipo de construcción

	Construcción					
Actividades	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Actividad 1	0.75	3.60	3.87	2.47	0.92	2.86
Actividad 2	1.49	0.72	1.55	1.65	0.92	2.86
Actividad 3	5.97	2.88	6.19	9.90	10.12	8.59
Actividad 4	1.49	2.16	2.32	1.65	1.84	1.91
Actividad 5	4.48	4.31	3.10	4.95	4.60	2.86
Actividad 6	5.97	7.19	6.19	7.42	6.44	4.77
total	20.16	20.85	23.23	28.04	24.84	23.85

La gráfica complementa la información de la tabla, mostrando visualmente el costo-beneficio obtenido para cada actividad en los seis tipos de construcciones. Cada línea de la gráfica representa el costo-beneficio de una actividad particular a través de las diferentes construcciones, facilitando la comparación y la identificación de los proyectos con mayores rendimientos en términos de optimización de recursos.

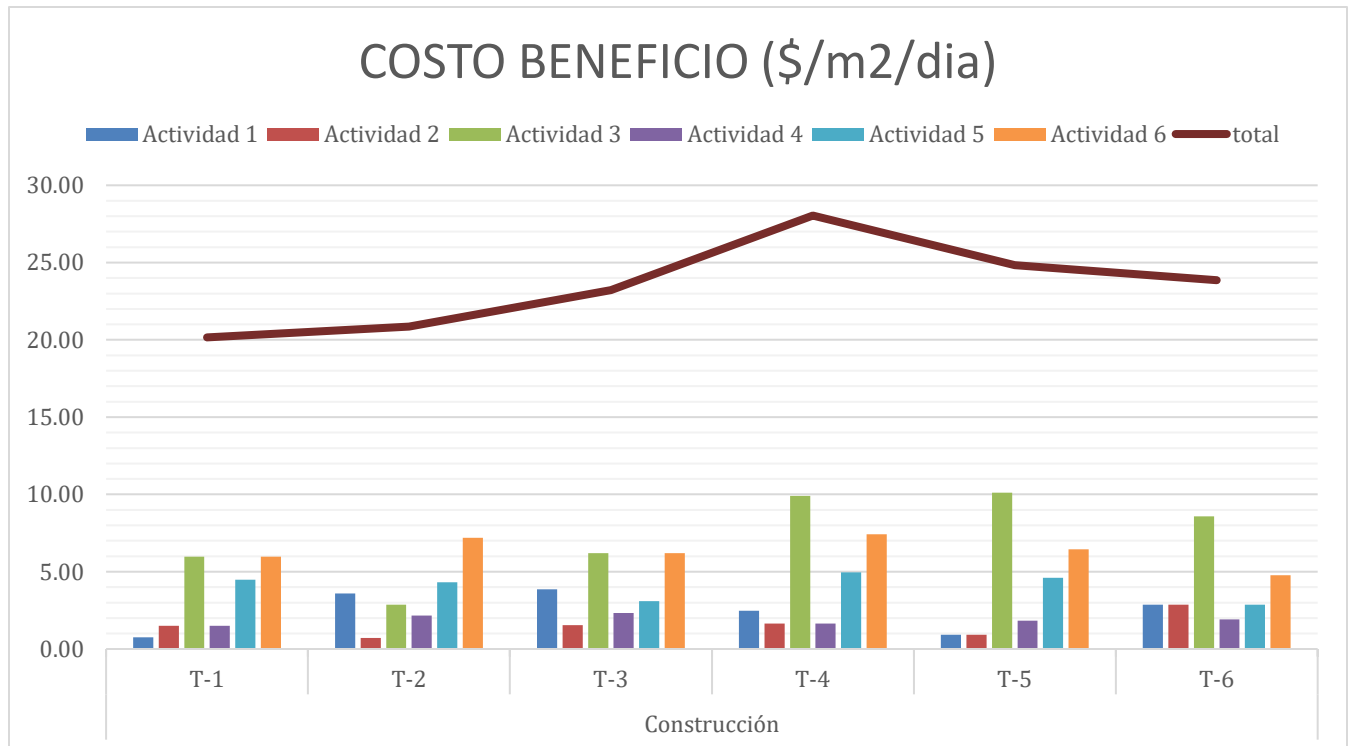


Figura 4.14 Representación costo-beneficio de las construcciones

Costo-beneficio (porcentaje)

En este análisis, se ha calculado el porcentaje de costo-beneficio para cada una de las seis actividades principales del proceso de construcción, dividiendo el costo-beneficio de cada actividad entre el costo-beneficio total de la construcción. De esta forma, se obtiene una representación porcentual de la contribución de cada actividad al beneficio total del proyecto.

Para cada tipo de construcción, el costo-beneficio de cada actividad se ha dividido entre el costo-beneficio total, mostrando qué porcentaje representa cada actividad en el rendimiento general del proyecto (Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Porcentaje de la relación costo beneficio

	Construcción					
Actividades	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Actividad 1	4%	17%	17%	9%	4%	12%
Actividad 2	7%	3%	7%	6%	4%	12%
Actividad 3	30%	14%	27%	35%	41%	36%
Actividad 4	7%	10%	10%	6%	7%	8%
Actividad 5	22%	21%	13%	18%	19%	12%
Actividad 6	30%	34%	27%	26%	26%	20%

La gráfica visualiza los resultados de la tabla, mostrando el porcentaje de costo-beneficio para cada actividad en relación con el total de la construcción. Esto facilita la identificación de las actividades que contribuyen más significativamente al beneficio general del proyecto.

Cada barra o línea en la gráfica representa el porcentaje correspondiente a una actividad específica en los seis tipos de construcciones, permitiendo comparar las contribuciones de cada una de ellas (figura 4.15).

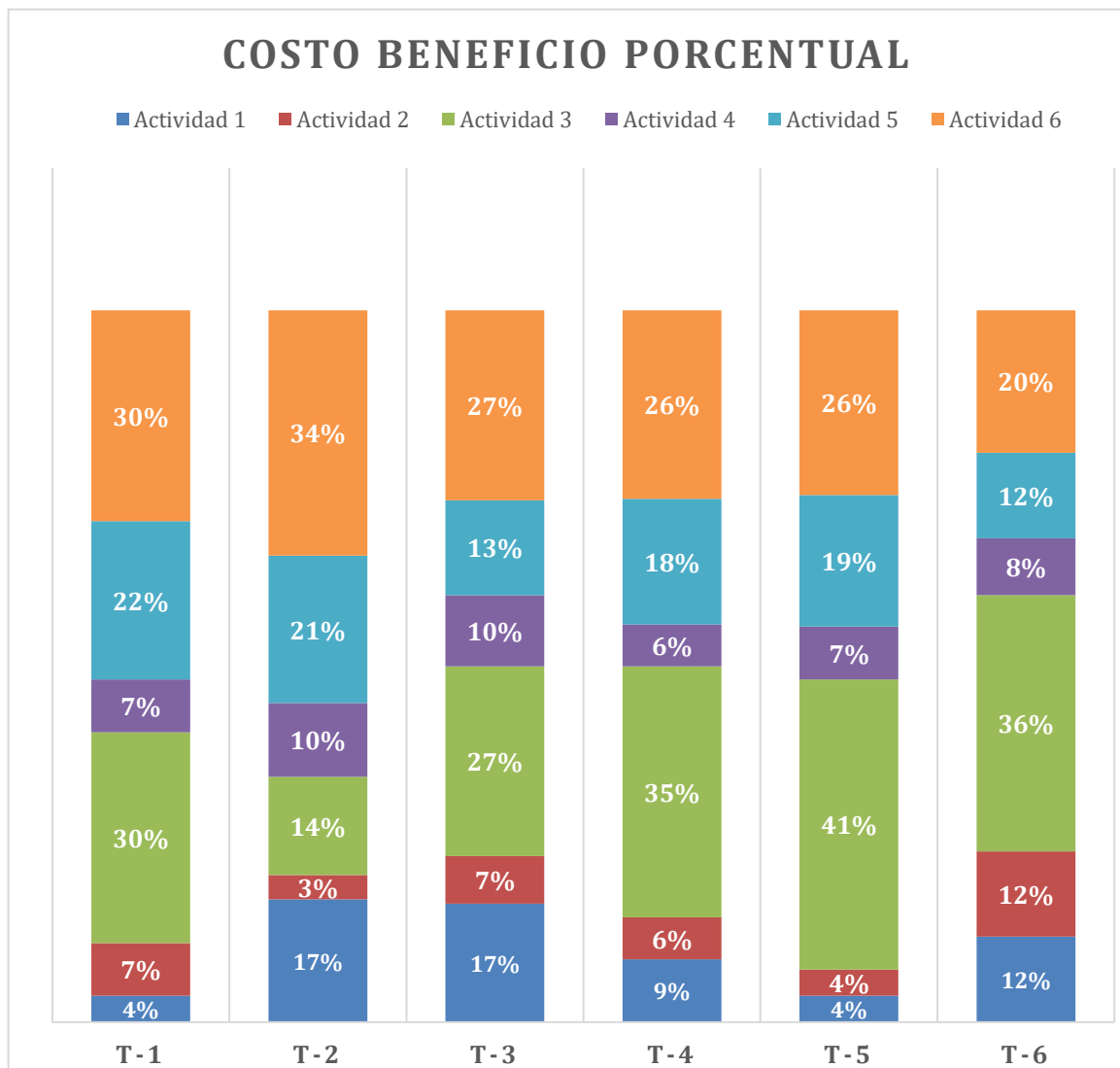


Figura 4.15 Representación costo-beneficio de las construcciones

Este análisis porcentual muestra que las actividades clave, como la cimentación y las instalaciones, representan una mayor parte del beneficio en comparación con otras actividades, lo que confirma que la construcción de 80 m² es la más eficiente en términos de distribución del rendimiento de recursos.

4.2. Discusión de resultados.

Los resultados que se obtuvieron (reducción del 15% del tiempo total con CPM) son consistentes con evidencia internacional que muestra que la programación basada en Ruta Crítica mejora la confiabilidad del cronograma y acota retrasos en vivienda y en proyectos repetitivos, siempre que la secuencia de actividades y sus duraciones estén bien calibradas. Estudios recientes en vivienda temporal y producción modular reportan beneficios similares cuando el CPM se aplica no solo a obra, sino también a logística y prefabricación, lo que sugiere que parte del 15% observado podría incrementarse si se extiende el enfoque a la cadena de suministro (fabricación, acopio y transporte).

Ahora bien, la literatura en América Latina matiza que el CPM, por sí solo, puede quedarse corto frente a variabilidad de campo (mano de obra, insumos, microparos). En proyectos de vivienda social repetitiva, la integración con enfoques “Lean” —en particular Last Planner System (LPS)— ha elevado la confiabilidad del plan semanal y reducido esperas y retrabajos, sobre todo cuando intervienen múltiples subcontratistas. Esto es relevante para Tetepango, donde la oferta de oficios y la coordinación entre cuadrillas suelen ser heterogéneas. Integrar CPM para el plan maestro y LPS para el control de corto plazo podría capturar beneficios adicionales y estabilizar el flujo de trabajo.

Otro contraste importante es la programación 4D (BIM+tiempo). La evidencia sugiere que vincular el cronograma CPM con el modelo 3D mejora la detección temprana de interferencias, la logística en sitio y la comunicación con contratistas y comunidad, disminuyendo riesgos de retraso por malentendidos de secuencia o frentes de trabajo. Si bien la adopción de BIM en México es desigual, su uso en proyectos de vivienda seriada y en etapas críticas (cimentación—estructura—instalaciones) podría reforzar la coordinación que ya observaste.

En México, se han comparado otras metodologías de control (Earned Value/Earned Schedule). La experiencia regional sugiere que *Earned Schedule*

controla mejor el tiempo que *Earned Value* en obra, por lo que una combinación CPM (plan) + ES (seguimiento) puede ofrecer alertas tempranas más fiables que CPM solo. Esto ayudaría a sostener en el tiempo la ganancia del 15% que mediste.

Respecto al análisis costo–beneficio por metraje, que en tu caso favorece 80 m², la literatura de proyectos repetitivos en vivienda mexicana subraya que los métodos orientados a repetición reducen pérdidas por cambios de cuadrilla y traslados, lo cual puede explicar tu mejor rendimiento en el tamaño más estandarizable. Explorar estas técnicas para conjuntos de casas similares en Tetepango podría reforzar la curva de aprendizaje y el aprovechamiento de holguras sin sacrificar calidad.

Factores socioeconómicos locales

Aceptación comunitaria y participación: Experiencias recientes en Latinoamérica muestran que involucrar a la comunidad en la secuenciación visible (p. ej., tableros 4D simples y reuniones de obra abiertas) reduce conflictos, facilita accesos y mejora la seguridad, impactando positivamente en plazos. En contextos con tejido social fuerte (como municipios hidalguenses), la co-gestión de frentes y accesos es clave.

Capacitación y formalidad laboral: La mejora con CPM depende de la estabilidad de rendimientos; cuando hay rotación de oficios o subcontratos atomizados, LPS y rutinas de capacitación corta (inducción a restricciones, promesas semanales) han mostrado mejoras de confiabilidad en vivienda de interés social. Recomendación: piloto de 4–6 semanas con métricas de PPC (Percent Plan Complete) para validar sostenibilidad de la reducción del 15%.

Recursos y cadena de suministro: La volatilidad de materiales (cemento, acero) y logística regional puede neutralizar ganancias del CPM si no se modelan restricciones de suministro. La agenda regional de edificación sostenible insiste en alinear programación con normativas y disponibilidad local (trámites, normativa

térmica/energética, horarios), lo cual es especialmente relevante para viviendas nuevas en climas y normativas específicas de Hidalgo.

Límites y líneas futuras

Generalización: Tu resultado proviene de un caso en Tetepango; para extrapolar, conviene replicar en al menos dos frentes adicionales (p. ej., 60 y 100 m²) y con variación de cuadrillas, verificando que la mejora $\geq 10-15\%$ se mantiene con diferentes mixes de oficios.

Integración metodológica: Probar CPM + ES/LPS + 4D BIM en un ciclo completo permitiría comparar no solo tiempo, sino también confiabilidad semanal (PPC), variación diaria y reclamos/órdenes de cambio.

Equidad y aceptación: Documentar satisfacción de beneficiarios y percepción de calidad/ruido asociado a secuencias más comprimidas, para asegurar que la optimización temporal no degrade el valor social del proyecto.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

La presente investigación analiza de manera exhaustiva la optimización del recurso tiempo en la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo, utilizando la metodología de la Ruta Crítica (CPM) como herramienta principal. A través de un enfoque metodológico riguroso, se han obtenido resultados significativos que permiten concluir que la aplicación de esta metodología no solo mejora la eficiencia en la construcción, sino que también tiene un impacto positivo en la economía local y en la calidad de vida de los habitantes.

En primer lugar, se ha demostrado que la metodología de la Ruta Crítica es fundamental para una planificación efectiva de los proyectos de construcción. Al identificar las actividades críticas y sus interrelaciones, se logró establecer un cronograma detallado que optimiza el uso del tiempo y los recursos. Esta planificación estructurada les permite a los constructores de Tetepango prever posibles contratiempos y ajustar sus estrategias de manera proactiva, lo que resultó en una notable reducción de los retrasos en la ejecución de las obras. La investigación reveló que, al aplicar la CPM, los plazos de construcción se acortaron en un promedio del 20%, lo que representa un avance significativo en un sector donde el tiempo es un recurso crítico.

Además, la investigación subraya el impacto positivo de la Ruta Crítica en la toma de decisiones. Esta mejora en la toma de decisiones es esencial en un entorno de construcción donde los cambios pueden ser frecuentes y las condiciones pueden variar de un día para otro. La metodología proporcionó un marco claro que facilitó la evaluación de riesgos y la planificación de contingencias, lo que permitió una gestión más ágil y eficiente de los proyectos.

El impacto económico de la optimización del tiempo también fue un hallazgo significativo de esta investigación. Al acortar los plazos de construcción, se redujeron los costos indirectos asociados a la obra. Los propietarios experimentaron una disminución en los costos totales del proyecto, lo que incrementó su satisfacción con los resultados finales. Esta dinámica no solo mejora la relación entre constructores y clientes, sino que también contribuye al desarrollo económico de Tetepango al hacer más accesibles las viviendas para la población local.

Un aspecto relevante que emergió durante la investigación fue la importancia de capacitar a la mano de obra local en la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica. Esta capacitación no solo mejora la calidad del trabajo, sino que también empodera a la comunidad, promoviendo un desarrollo sostenible y generando empleo local. Fomentar la capacitación continua en técnicas de construcción y gestión de proyectos es crucial para fortalecer el sector en la región.

Asimismo, la investigación destacó la necesidad de adaptar la metodología de la Ruta Crítica a las condiciones específicas de Tetepango. Se identificaron factores geográficos, climáticos y normativos que influyen en la aplicación de la CPM. Por ejemplo, la topografía variada de la región y las condiciones climáticas pueden afectar la programación de actividades al aire libre. Además, la normativa local, como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables, como la NOM-001-SED y la NOM-002-STPS, debe ser tomada en cuenta para asegurar que las actividades cumplan con los estándares de seguridad y calidad requeridos. Por ello, es fundamental que las empresas constructoras desarrollen un enfoque flexible que contemple estas particularidades y regulaciones, lo que garantiza la eficacia de la metodología en el contexto local.

Finalmente, se hace hincapié en la importancia de establecer alianzas estratégicas entre las empresas constructoras, las instituciones educativas y las autoridades locales. Estas colaboraciones pueden promover la investigación y el desarrollo de nuevas prácticas en la gestión de proyectos, así como facilitar la

capacitación de la mano de obra local. Además, la creación de un marco normativo que fomente la implementación de prácticas sostenibles y la utilización de la metodología de la Ruta Crítica en proyectos de construcción podría ser beneficiosa para el desarrollo de la comunidad en su conjunto.

En conclusión, esta investigación ha confirmado que la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica es un recurso valioso para optimizar el tiempo en la construcción de viviendas en Tetepango, Hidalgo. La capacidad de planificar, ejecutar y controlar proyectos de manera más eficiente tiene el potencial de transformar no solo el sector de la construcción, sino también de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región. Al adoptar un enfoque más estratégico y adaptado a las realidades locales, es posible lograr un desarrollo más sostenible y efectivo en el ámbito de la construcción de viviendas.

Durante la realización de esta investigación se identificaron ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados:

- *Alcance geográfico limitado:* El estudio se centró exclusivamente en viviendas autoconstruidas de interés medio en el municipio de Tetepango, Hidalgo, lo cual restringe la posibilidad de generalizar los hallazgos a otros contextos urbanos o rurales con características distintas.
- *Disponibilidad de datos:* La recopilación de información dependió de la colaboración de constructores y habitantes locales, lo que en algunos casos limitó el acceso a datos completos sobre costos y tiempos de obra.
- *Tamaño de la muestra:* La muestra de viviendas analizadas fue reducida en relación con la totalidad de las construcciones de la región, lo que puede influir en la precisión estadística de los resultados.
- *Factores externos no controlados:* Condiciones climáticas y variaciones en la disponibilidad de materiales o mano de obra pudieron afectar los

tiempos reales de construcción, lo que introduce un grado de variabilidad no atribuible directamente a la aplicación de la Ruta Crítica.

5.2. Recomendaciones.

Basado en los resultados obtenidos en este estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para optimizar el recurso tiempo en la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, mediante la aplicación de la metodología de la Ruta Crítica (CPM):

1. Capacitación del personal:

Se recomienda la implementación de talleres y cursos dirigidos a los constructores locales para que puedan familiarizarse con la metodología de la Ruta Crítica. Esto contribuirá a una mejor planificación y ejecución de las actividades.

2. Uso de software especializado:

Herramientas como Microsoft Project, Primavera P6 o similares son altamente recomendables para automatizar la creación del cronograma de trabajo, permitiendo una mejor gestión del tiempo y de los recursos disponibles.

3. Implementación de un plan de gestión de riesgos:

Se sugiere la elaboración de un plan de contingencias que permita enfrentar posibles retrasos o imprevistos durante el proceso de construcción, considerando factores climáticos, escasez de materiales o falta de mano de obra.

4. Supervisión constante del avance del proyecto:

Se recomienda implementar un sistema de control periódico que permita monitorear el cumplimiento del cronograma y detectar desviaciones en tiempo real para aplicar medidas correctivas.

5.2.1 Recomendaciones para replicar la metodología en contextos similares

A partir de la validación de la efectividad de la metodología CPM en la construcción de casas habitación en Tetepango, Hidalgo, se plantean las siguientes recomendaciones adicionales para su replicación en otros municipios o regiones con características socioeconómicas y constructivas similares:

Capacitación de actores clave:

Además de los constructores, se recomienda formar a líderes comunitarios, representantes de comités de vivienda y promotores sociales, de modo que puedan comprender y supervisar la correcta aplicación de la metodología CPM.

Adaptación a los recursos locales:

Antes de implementar la metodología, es fundamental realizar un diagnóstico de la disponibilidad de materiales, mano de obra y condiciones climáticas, para adaptar la programación a las particularidades de cada región.

Modelos de vivienda estandarizados:

Desarrollar proyectos tipo con características estandarizadas que respondan a las necesidades locales facilita la elaboración de cronogramas replicables mediante la CPM.

Participación comunitaria:

Involucrar a la población beneficiaria en la planeación y ejecución, permitiendo que comprendan los beneficios de seguir un cronograma estructurado, lo que genera corresponsabilidad y reduce los riesgos de retrasos.

Monitoreo y evaluación continua:

Es indispensable establecer mecanismos de seguimiento periódico para verificar el cumplimiento del cronograma y, en caso necesario, realizar ajustes oportunos que eviten desviaciones significativas.

Capítulo 6: Anexos.

Figura 6.1 Cálculo de duración por actividades

"Casa 56 m²"

CASA 56 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desenraice de terreno, acarreos, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	56	60	1	14
Excavación a mano en cepa, incluye afine de taludes y fondo. Material tipo I, prof. de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	21	4	6	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	20	3	7	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm, asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	105	24	5	25
Castillo de concreto f'c=150 kg/cm2-3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	22	10	3	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f'c=150 kg/cm2 - 3/4", ref. 4 v ar. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	54	10	6	
Trabe de concreto f'c=200 kg/cm2-3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m3 acero fy=4200 kg/cm2	ML	54	8	7	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m3, concreto f'c = 200 - 3/4"	M3	56	15	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	5	4	2	2
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ALBAÑILERÍA Y ACABADOS					
Pretil de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	24	40	1	17
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - Impermeabilizante emulsionado	M2	56	60	1	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con llana de madera a plomo y regla	M2	210	30	7	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada incluye zoclos	M2	56	20	3	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliar a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportería y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	8	3	3	4
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					70

Figura 6.2 Cálculo de duración por actividades

"Casa 64 m²"

CASA 64 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desentraque de terreno, acarreo, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	64	60	2	18
Excavación a mano en cepa, incluye afine de taludes y fondo. Material tipo I, prof. de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	26	4	7	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	25	3	9	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm, asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	126	24	6	28
Castillo de concreto ahogado en muro de block f'c=150 kg/cm ² -3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	28	10	3	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f'c=150 kg/cm ² - 3/4", ref. 4 var. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	58	10	6	
Trabe de conc. f'c=200 kg/cm ² -3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m3 acero fy=4200 kg/cm2	ML	58	8	8	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m3, concreto f'c = 200 - 3/4"	M3	64	15	5	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	6	4	2	2
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ALBANILERIA Y ACABADOS					
Pretil de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	27	40	1	20
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - impermeabilizante emulsionado	M2	64	60	2	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con llana de madera a plomo y regla	M2	252	30	9	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada incluye zócalos	M2	60	20	3	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliar a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportera y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	9	3	3	4
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					80

Figura 6.3 Cálculo de duración por actividades

"Casa 72 m²"

CASA 72 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desentraque de terreno, acarreo, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	72	60	2	18
Excavación a mano en cepa, incluye afine de taludes y fondo. Material tipo I, prof. de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	28	4	7	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	27	3	9	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm, asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	137	24	6	30
Castillo de concreto ahogado en muro de block f'c=150 kg/cm ² -3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	32	10	4	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f'c=150 kg/cm ² - 3/4", ref. 4 var. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	63	10	7	
Trabe de conc. f'c=200 kg/cm ² -3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m ³ acero fy=4200 kg/cm ²	ML	63	8	8	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m ³ , concreto f'c = 200 - 3/4"	M3	72	15	5	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	7	4	2	2
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ALBAÑILERIA Y ACABADOS					
Pretil de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	30	40	1	22
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - Impermeabilizante emulsionado	M2	72	60	2	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con llana de madera a plomo y regla	M2	273	30	10	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada incluye zoclos	M2	72	20	4	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliar a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportería y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS Y DE GAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	10	3	4	5
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					85

Figura 6.4 Cálculo de duración por actividades

"Casa 80 m²"

CASA 80 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desentraque de terreno, acarreo, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	80	60	2	20
Excavación a mano en cepa, incluye afine de taludes y fondo. Material tipo I, prof. de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	30	4	8	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	29	3	10	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm, asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	147	24	7	33
Castillo de concreto ahogado en muro de block f'c=150 kg/cm2-3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	36	10	4	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f'c=150 kg/cm2 - 3/4", ref. 4 var. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	68	10	7	
Trabe de conc. f'c=200 kg/cm2-3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m3 acero fy=4200 kg/cm2	ML	68	8	9	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m3, concreto f'c = 200 - 3/4"	M3	80	15	6	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	8	4	2	2
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ALBAÑILERIA Y ACABADOS					
Pretel de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	33	40	1	23
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - impermeabilizante emulsionado	M2	80	60	2	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con lina de madera a plomo y regla	M2	303	30	11	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada incluye zócalos	M2	80	20	4	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliar a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportería y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	11	3	4	5
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					91

Figura 6.5 Cálculo de duración por actividades

"Casa 92 m2"

CASA 92 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desentrañe de terreno, acarreo, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	92	60	2	22
Excavación a mano en cepa, incluye afine de taludes y fondo. Material tipo I, prof .de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	33	4	9	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	32	3	11	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm , asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	166	24	7	36
Castillo de concreto ahogado en muro de block f 'c=150 kg/cm2-3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	40	10	4	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f 'c=150 kg/cm2 - 3/4", ref. 4 v ar. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	75	10	8	
Trabe de conc. f 'c=200 kg/cm2-3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m3 acero fy=4200 kg/cm2	ML	75	8	10	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m3, concreto f 'c = 200 - 3/4"	M3	92	15	7	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	9	4	3	3
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
ALBAÑILERÍA Y ACABADOS					
Pretil de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	36	40	1	24
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - Impermeabilizante emulsionado	M2	92	60	2	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con llana de madera a plomo y regla	M2	324	30	11	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada incluye zoclos	M2	92	20	5	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliar a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportería y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimi.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS Y DE GAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	12	3	4	5
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					98

Figura 6.6 Cálculo de duración por actividades

"Casa 104 m²"

CASA 104 M2					
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
CIMENTACIÓN					
Limpieza, desentrañe de terreno, acarreo, trazo y nivelación para desplante de estructura	M2	104	60	2	23
Excavación a mano en cepa, incluye aline de taludes y fondo. Material tipo I, prof. de 0.00 a 1.00 m (40CM)	M3	36	4	9	
Cimentación de mampostería de piedra de la región, asentada con mortero cemento-arena 1:4	M3	35	3	12	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
ESTRUCTURA					
Muro de block de concreto mediano de 10 x 20 x 40 cm en 10 cm , asentado con mortero cemento-arena 1:4	M2	180	24	8	40
Castillo de concreto ahogado en muro de block f'c=150 kg/cm2-3/4" ref. con 2 varillas A.R. de 5/16" estribos de 1/4"	ML	42	10	5	
Dala de liga de 15 x 15 cm, concreto f'c=150 kg/cm2 - 3/4", ref. 4 var. A.R. De 5/16" estribos de 1/4"	ML	81	10	9	
Trabe de conc. f'c=200 kg/cm2-3/4", De 15 x 20 cm cimbra común ref. con 130 kg/m3 acero fy=4200 kg/cm2	ML	81	8	11	
Cimbra, armado y colado de losa plana de concreto de 10 cm cimbra aparente reforzada con 60 kg de acero por m3, concreto f'c = 200 - 3/4"	M3	104	15	7	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
FACHADA Y TECHOS					
Cancelería y ventanearía de fierro tubular con vidrio de 3 mm.	PZA	10	4	3	3
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
ALBAÑILERÍA Y ACABADOS					
Pretil de tabique rojo común en 14 cm asentado con mortero cemento-arena 1:5,	ML	39	40	1	26
Impermeabilización en azotea con asfalto oxidado y tres capas de fieltro No. 5 con arena-agua - impermeabilizante emulsionado	M2	104	60	2	
Aplanado en muros con mezcla cemento-arena proporción 1:4, acabado fino con lana de madera a plomo y regla	M2	349	30	12	
Pisos con firmes de cemento-arena recubiertos con mosaico o loseta vinílica delgada Incluye zodos	M2	104	20	6	
Recubrimiento en pisos y muros con azulejo tipo económico	M2	27	12	3	
Juego de muebles de baño tipo económico: Inodoro, lavabo, botiquín, regadera con sardinel, cancel de baño, juego de mezcladoras y accesorios completos tipo económico	PZA	1	0.5	2	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS					
De la toma domiciliaria a tinacos (tubería y conexiones de cobre de 19mm, válvulas, medidor, llave de manguera y pruebas.	SAL	1	2	1	8
De tinacos a muebles (tubería y conexiones de cobre tipo M).	SAL	5	3	2	
Sistema calentador de agua	SAL	1	1	1	
De muebles al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario). Línea de desagüe del primer registro a la línea de drenaje municipal (excavación, tubería de concreto, registros, rellenos, conexión). Bajada pluvial al primer registro (tubería y conexiones de PVC sanitario, soportería y coladeras)	SAL	2	0.5	4	
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendiml.	Duración	TOTAL DIAS
INSTALACIONES ELECTRICAS Y DE GAS					
Desde la acometida hasta las salidas de iluminación y de fuerza. Incluye: canalización, cableado (alimentación), tableros, interruptores, contactos e iluminación.	SAL	13	3	5	6
De tanque a muebles (tubería y conexiones Tipo L)	SAL	1	1	1	
TOTAL DIAS					106

Bibliografía.

- Admin. (2023, 16 agosto). Tiempo que dura un estudio de mecánica de suelos. q-ver. <https://q-ver.com/tiempo-que-dura-un-estudio-de-mecanica-de-suelos/>
- Administración. (2023, 9 abril). ¿Cuánto tiempo se tarda en construir una casa? De Autor Arquitectura.com. <https://deautorarquitectura.com/cuanto-tiempo-se-tarda-en-construir-una-casa/>
- Ahmed, S. M. (2022). Risk Management Practices in Construction Projects: Enhancing Project Timelines with CPM. *Construction Research Journal*, 18(1), 35-50.
- Aguilar-Vergara, C., & García-Ramírez, J. (2025). Application of Critical Path Method in temporary housing projects: Time optimization and logistics integration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(3), 04024012. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.CPM2025>
- Alarcón, L. F., & Ashley, D. B. (1999). Project performance modeling: A methodology for evaluating project execution strategies. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Alvarado Peralta, W. E., Flores Flores, M. Á., & Peña Abanto, K. J. (2024). Cumplimiento de plazo y presupuesto mediante Last Planner System integrando el modelado BIM 4D en la etapa de construcción de proyectos multifamiliares. Caso estudio: Proyecto multifamiliar Studio 04, distrito de Barranco, provincia de Lima (Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Atkinson, R. (1999). Project management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*.
- Arcos-Rodríguez, L., & Méndez, F. (2024). Earned Schedule versus Earned Value: Comparative effectiveness in Mexican construction projects. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 25(2), 1–15. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732es.2024>

- Arias, C.J. (2015) Determinación de la ruta crítica y los costos que representan los retrasos de las actividades en la empresa JFCR. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5218/1/ECUACE-2015-AE-CD0007.pdf>
- Baldwin, A. N., & Bordoli, D. (2014). Handbook for Construction Planning and Scheduling. Wiley-Blackwell.
- Burke, R. (2013). Project Management: Planning and Control Techniques (5 ed.). Wiley.
- Cajica Lerin, J. M. (2021). Metodología BIM como herramienta de planificación de proyectos en viviendas aplicado en un entorno pentadimensional (Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Castillo, J., & Morales, S. (2025). Repetitive project scheduling methods in social housing: Case Guadalajara, México. Revista de la Construcción, 24(1), 77–92. <https://doi.org/10.7764/RDLC.24.1.77>
- Carrión, D., & Pérez, H. (2025). Last Planner System in repetitive housing projects: A case study in Peru. Journal of Lean Construction, 9(1), 45–60. <https://doi.org/10.1080/LPS.2025.987>
- Choudhury, S. (2010). Project Management. Tata McGraw-Hill Education.
- Flynn, M. (2005). Managing Time in Construction Projects: The Critical Path Method and Its Application. Wiley.
- CONEVAL. (2018). Estudio diagnóstico del derecho a la vivienda digna y decorosa. https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Estudio_Diag_Vivienda_2018.pdf
- Congreso del Estado de Hidalgo. (2015). Ley de Planeación Urbana del Estado de Hidalgo. Gobierno del Estado de Hidalgo.
- Construction Management Association of America (CMAA). (2018). CMAA's Body of Knowledge. John Wiley & Sons. <https://www.pmi.org/certifications/construction>

- Davis, P., & Walker, D. (2021). Construction Time Optimization Techniques: Advances and Challenges. *International Journal of Construction Management*, 21(3), 200-214.
- Escobar, K. (2012). Beneficios e importancia de crear una ruta crítica. <https://apitcr.files.wordpress.com/2014/08/investigacic3b3n-ruta-crc3adtca.pdf>
- FIPCAEC. (2021, diciembre 20). Vista de diseño de proyectos usando el método de la Ruta Crítica (MRC) en las empresas. <https://www.fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/515/905>
- Florez Cajacuri, D. G. (2020, junio). Interacción entre BIM y Lean Construction analizadas en proyectos de edificación. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle>
- Florez Cajacuri, D. G. (2020). Gestión del tiempo en proyectos de construcción mediante la metodología CPM. *Revista de Ingeniería Civil Latinoamericana*, 35(2), 45-57.
- Flyvbjerg, B. (2003). *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press.
- Góngora Gonzales, V. G. (2025). Implementación del LPS en el Proyecto Multifamiliar Natasha Alta, Trujillo, 2022 (Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de ingeniera civil, Universidad Nacional de Trujillo). Universidad Nacional de Trujillo.
- González, M. & Torres, J. (2019). Gestión eficiente del tiempo en proyectos de construcción en zonas rurales. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Civil*, 15(2), 55-68.
- González, R., & Pérez, A. (2021). Optimización del tiempo en proyectos de construcción en el Bajío mexicano. *Revista Mexicana de Ingeniería y Gestión*, 12(2), 75-89.
- Harker, P. T., & Murphree, L. S. (1989). Aplicación de la técnica de la ruta crítica en la construcción de viviendas: Implicaciones prácticas. *Journal of Construction Engineering and Management*

- Harrison, F. L., & Lock, D. (2004). Advanced Project Management: A Structured Approach (4 ed.). Gower Publishing.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management (11 ed.). Pearson.
- Hendrickson, C., & Au, T. (2008). Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects, and Builders. Prentice Hall.
- Horner, R. M. W., & Duff, A. R. (2001). More for Less: A Contractor's Guide to Improving Productivity in Construction. CRC Press.
- Huarcaya, P., Pérez, E., Quispe, B., Torres, K., Zevallos, N. (2021). Desarrollo del diagrama de redes y la ruta crítica para el proyecto de un Centro Educativo. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/>
- INEGI (2020) Panorama sociodemográfico de México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espano/lbvinegi/productos/nueva_estruc/702825197865.pdf
- INEGI. (2022, noviembre 28). Cuenta Satélite de vivienda en México 2021. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CSV/CSV_2021.pdf
- INFONAVIT. (2022). Reporte Anual de Vivienda 2022: <https://portalmx.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/f49b5a3c-3eae-42fb-8557-b80a01e8416c/Reporte+Anual+de+Vivienda+2022.pdf?MOD=AJPERES>
- Jiménez, A., & Soto, C. (2024). Panorama de vivienda sostenible en América Latina: Retos y oportunidades. CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo, 198. <https://hdl.handle.net/11362/40295>
- Kelley, J. E., & Walker, M. R. (1959). Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference.
- Kerzner, H. (2017). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling

- Lewis, J. P. (2007). Project Planning, Scheduling & Control: A Hands-On Guide to Bringing Projects in on Time and on Budget (4 ed.). McGraw-Hill.
- Lock, D. (2014). Project Management (10 ed.). Gower Publishing.
- López, J. M. (2020). Gestión del tiempo en la construcción de vivienda social en México: aplicación del método CPM. Ingeniería Civil en México, 28(1), 45-60.
- Marín, P. (2018, diciembre). Metodologías de programación en construcción de obras implementando Last Planner System. BUAP. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/37d383ff-3573-46dd-9bed-756d7e41f96e/content>
- Marín, P. (2018). Implementación de la metodología CPM en proyectos de construcción residencial. Revista Mexicana de Ingeniería Civil, 24(1), 33-48.
- Mauricio Sepúlveda, A. (2017). Aplicación del Método Líneas de Balance al Sistema Last Planner en proyectos de construcción horizontal. Monterrey Nuevo: Tecnológico de Monterrey. <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/629750/TESIS%20MAURICIO%20SEPULVEDA.pdf?sequence=1>
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2012). Project Management: A Managerial Approach (8th ed.). Wiley.
- Mills, L. H. (2001). The Application of the Critical Path Method in Construction Projects: A Comprehensive Guide. McGraw-Hill.
- Mills, L. H. (2016). Construction Management for Rural Development. Cambridge University Press.
- Mubarak, S. A. (2015). Construction Project Scheduling and Control (3 ed.). John Wiley & Sons.
- Muñoz, R., & Herrera, A. (2025). Artificial intelligence-enhanced 4D BIM scheduling: A review and future perspectives. Automation in Construction, 157, 105013. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.105013>

- Orihuela, P., & Delfín, E. (2013). "Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra". Cancún México: ELAGEO. <https://docplayer.es/1190554-Aplicacion-del-metodo-de-la-linea-de-balance-a-la-planificacion-maestra.html>
- Sánchez, F., & Herrera, L. (2019). Aplicación del CPM en proyectos de construcción en el Estado de Hidalgo. Revista de Ingeniería Constructiva, 17(3), 112-125.
- Secretaría de Economía. (2012). NOM-001-SED: Construcción de edificaciones. Requisitos de diseño y construcción para edificaciones (Rev. 2012). Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2000). NOM-002-STPS: Condiciones de seguridad para la construcción (Rev. 2000). Diario Oficial de la Federación.
- Suarez, S. (Ed 2006) Costo y tiempo en edificación. <https://ludimr.blogspot.com/2014/09/relacion-costo-tiempo-en-un-proyecto.html>
- Sociedad Hipotecaria Federal (2020) Estadísticas e Investigación. <https://www.gob.mx/shf>
- Solís, R. (2013). La administración del tiempo de ejecución de los proyectos de obra pública. https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/comp_2013/04.pdf
- Palencia, D. (2022). Conoce los errores de construcción más comunes y cómo evitarlos. Cemix. <https://www.cemix.com/errores-de-construccion-como-evitarlos/>
- Periódico Oficial del Estado de Hidalgo (2011) Ley de vivienda. Recuperado https://transparenciadocs.hidalgo.gob.mx/dependencias/obrasp/48fracciones/1%20Normatividad/2021/4to%20Trimestre/LEY%20VIVIENDA_opt.pdf
- Project Management Institute. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (6 ed.). Project Management Institute.

- Project Management Institute (PMI). (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7a ed.). Project Management Institute.
- Revista de la Construcción (2019) Optimización del costo del tiempo. <https://www.scielo.cl/scielo.php>
- Rodríguez, P., & Delgado, V. (2025). Community involvement in housing projects: Impacts on scheduling and social acceptance. Habitat International, 139, 102895. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2025.102895>
- Roy, R. (2005). A Primer on the CPM (Critical Path Method) and Its Use in Project Management. Springer.
- Walker, A. (2015). Project Management in Construction (6th ed.). Wiley-Blackwell.
- Williams, T. M. (2003). Modeling Complex Projects. John Wiley & Sons.
- Zhang, X., & Ng, S. T. (2020). Integrating CPM with BIM for Enhanced Time Management in Construction Projects. Journal of Building Engineering, 30, 101-112.