

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

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Yesid Jhancarlos Zambrano Rincón Santiago Gaona Galeano		
FACULTAD	Facultad de Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Msc. Álvaro José Quintero Rojas		
TÍTULO DE LA TESIS	Comparación de metodologías de planificación CPM-PERT, Gantt y Last Planner System, en el proyecto de edificación Olta en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.		
TITULO EN INGLES	A Comparison of CPM-PERT, Gantt, and Last Planner System planning methodologies in the OLTA building project in the municipality of Ocaña, Norte de Santander.		
RESUMEN (70 palabras)			
La planificación de proyectos de construcción es esencial para cumplir plazos, costos y calidad en obra. Metodologías como CPM-PERT, Gantt y Last Planner System han sido ampliamente utilizadas en el sector con distintos enfoques frente al dinamismo en obra. Esta investigación las compara mediante la aplicación en un proyecto de edificación unifamiliar en Ocaña N.S, determinando cuál ofrece mayor claridad, precisión y gestión en la planificación.			
RESUMEN EN INGLES			
Construction project planning is essential for meeting deadlines, staying within budget, and ensuring quality on-site. Methodologies such as CPM/PERT, Gantt, and the Last Planner System have been widely used in the industry, each offering a different approach to managing the dynamic nature of construction sites. This study compares these methodologies by applying them to a single-family home construction project in Ocaña N.S, to determine which offers the greatest clarity, precision, and management effectiveness in planning.			
PALABRAS CLAVES	Construcción, Cpm, Pert, Gantt, Last Planner System, Planificación.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Construction, Cpm, Pert, Gantt, Last Planner System, Planning		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 102	PLANOS:	ILUSTRACIONES:6	CD-ROM:

**Comparación de metodologías de planificación Cpm-pert, Gantt y Last Planner System, en
el proyecto de edificación olta en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.**

Yesid Jhancarlos Zambrano Rincón

Santiago Gaona Galeano

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Director: Msc. Álvaro José Quintero Rojas

06 Abril del 2026

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, por darme la fortaleza y la guía necesaria para alcanzar este sueño que se hace realidad. A mis hermanas y a mis padres, Edwin Zambrano y Nellys Rincón, quienes, con su amor, sus enseñanzas y su ejemplo sembraron en mí los valores que hoy me definen. A mi madre, quien me enseñó a valorar las pequeñas cosas de la vida, a enfrentar las dificultades con entereza y que rendirse nunca es el camino; a ella, por su amor incondicional y por cada sacrificio silencioso, le dedico este logro con la más profunda gratitud.

A mi compañera de vida, Laura Hernández, por caminar a mi lado durante toda esta etapa, por su confianza, su amor, su apoyo constante, y por creer en mí con una convicción que me impulsó a seguir adelante. Crecer a su lado fue, sin duda, uno de los mayores regalos de este camino, pues gracias a ella cada dificultad se hizo más llevadera y cada victoria, mucho más valiosa.

Y finalmente, a mi compañero Santiago Gaona, por su esfuerzo, compromiso y dedicación a lo largo de todo este proceso. Y a cada compañero, amigo y docente que de alguna manera aportaron a este triunfo.

A todos ellos, quienes con su presencia y apoyo me enseñaron que el esfuerzo y la constancia son el puente que une nuestros deseos con la realidad.

Yesid Jhancarlos Zambrano Rincón

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a Dios por brindarme la oportunidad de llegar hasta acá, brindarme las fuerzas y ayudarme cada día para lograr este sueño, a mis padres Abisail Gaona y Elizabeth Galeano por enseñarme a vivir la vida, a disfrutar las pequeñas cosas y valorar cada una de ellas.

A mi hermano Jhoner Gaona por siempre estar, por ser un padre más que me ha apoyado y ayudado siempre que lo he necesitado, a mis tíos y primos que siempre me aportaron, a mis abuelos que siguen estando presente en mi vida.

A mi amigo, y compañero Yesid Jhancarlos Zambrano Rincón, por su esfuerzo y energía en las diferentes etapas de esta investigación, a mis demás compañeros y amigos que hicieron la etapa universitaria más disfrutable, a mis amigos de toda la vida porque de alguna manera aportaron a este triunfo.

Santiago Gaona Gaoleano.

Agradecimientos

A Dios por habernos regalado y guiado cada día de nuestra formación.

A nuestros padres por acompañarnos y ser nuestros pilares, sin ellos hoy no podríamos ser ingenieros civiles.

A nuestra alma mater, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por ser nuestra segunda casa y ofrecernos lo necesario para ser profesionales.

Al Msc. Álvaro José Quintero Rojas por ser nuestro director y brindarnos su apoyo, colaboración, confianza y esfuerzo para realizar esta investigación.

A nuestros jurados, el Msc. Pedro Nel Angarita Uscategui y el Msc. Jesús David Marquez Montejó, por sus enseñanzas, comprensión y acompañamiento durante la elaboración de la investigación.

A la empresa OLTA, por la confianza y ayuda brindando la información de su proyecto.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y quienes nos apoyaron durante toda nuestra carrera universitaria.

Yesid Jhancarlos Zambrano Rincón

Santiago Gaona Galeano

Índice

Comparación de metodologías de planificación Cpm-pert, Gantt y Last planner system, en el proyecto de edificación olta en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.....	10
1.1. Planteamiento del Problema	10
1.2. Formulación del Problema.....	12
1.3. Objetivos de Investigación.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
1.4. Justificación	14
1.5. Delimitaciones	16
1.5.1. Delimitación Geográfica.....	16
1.5.2. Delimitación Temporal	16
1.5.3. Delimitación Conceptual	16
1.5.4. Delimitación Operativa.....	17
2. Marco referencial	18
2.1. Marco Histórico	18
2.2. Marco Contextual.....	22
2.3. Marco Conceptual.....	23
2.4. Marco Teórico.....	29

2.5. Marco Legal	35
3. Diseño metodológico	38
3.1. Tipo de investigación.....	38
3.2. Población y Muestra	39
4. Resultados	40
4.1. Caracterizar el proyecto de edificación OLTA en el municipio de Ocaña, mediante la recopilación de planos, rendimientos y cantidades de obra para obtener la información que permita la aplicación de las metodologías de planificación	40
4.2. Aplicar las metodologías de planificación CPM-PERT, Gantt y LPS mediante la estructuración de actividades, secuenciación, estimación de duraciones y elaboración de los cronogramas obteniendo el plan de trabajo de cada metodología.	53
4.2.1 Aplicación del Diagrama de Gantt.....	60
4.2.2 Aplicación de la metodología CPM/PERT	66
4.2.3 Aplicación de la metodología del Last Planner System (LPS).	72
4.3. Comparar las metodologías CPM-PERT, GANTT y LPS, mediante la realización de una matriz comparativa con enfoque en su claridad, precisión y gestión, identificando diferencias en la planificación de proyectos.	86
5. Conclusiones	91
6. Recomendaciones	94
7. Referencias.....	95
8. Apéndices.....	102

8.1.	Apéndice 1. Memorias de cantidades.	102
8.2.	Apéndice 2. Diagrama de Gantt.....	102
8.3.	Apéndice 3. Diagrama de red AON.....	102
8.4.	Apéndice 4. Last Planner System (Plan maestro/Lookahead/PS)	102

Lista de tablas

Tabla 1 Actividades de ejemplo para la aplicación del método CPM/PERT	32
Tabla 2 Descripción general del proyecto de OLTA Vivienda Unifamiliar.....	42
Tabla 3 Descripción general del contenido del plano arquitectónico.	43
Tabla 4 Descripción general del contenido de los planos estructurales.....	44
Tabla 5 Estructura de desglose de trabajo (EDT), cantidades de obra y rendimientos. ...	47
Tabla 6 Lista de actividades con duraciones y predecesoras para la planificación por GANTT, CPM/PERT y LPS.....	55
Tabla 7 Tabla CPM/PERT	70
Tabla 8 Plan semanal S1	81
Tabla 9 Tabla de CNC más comunes.....	82
Tabla 10 Simulación plan semanal S2 con CNC.	83
Tabla 11 Simulación del plan semanal de la S3.	85
Tabla 12 Matriz de comparación de los métodos de planificación.....	88
Tabla 13 Valoración de la Matriz comparativa de claridad, precisión y gestión.....	90

Lista de figuras

Figura 1 Información para el cálculo de la ruta crítica.	33
Figura 2 Ejemplo Diagrama de red CPM/PERT.....	33
Figura 3 Diagrama de Gantt.....	61
Figura 4 Fragmento del diagrama de red AON del proyecto de OLTA.	68
Figura 5 Plan maestro del proyecto vivienda unifamiliar de OLTA.	75
Figura 6 Sección de la estructura Lookahead	78

Comparación de metodologías de planificación Cpm-pert, Gantt y Last planner system, en el proyecto de edificación olta en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.1. Planteamiento del Problema

La gerencia de proyectos de construcción es esencial para cumplir los objetivos y requerimientos de obra, como plazos, costos y calidad de las mismas. Un error común que cometen los planificadores es analizar los proyectos como conjunto de la suma de tareas individuales, estimando cada actividad de forma independiente. Sin embargo, si se analizarán los proyectos como flujo de valor, identificando necesidades y restricciones, se obtendría una versión más completa y realista del proyecto. (Pons y Rubio, 2019).

Las variaciones de tiempo son determinantes para los proyectos, independientemente de su causa, se considera que es el recurso de mayor valor que se puede cambiar por dinero, pero no de forma inversa (Mattos y Valderrama, 2014). En este contexto, surgió la necesidad de implementar herramientas que permitieran planificar y controlar de manera más eficiente las tareas, dando origen a sistemas de programación orientados a optimizar la secuencia de actividades y reducir la incertidumbre mediante la anticipación de posibles desviaciones o retrasos.

Así, el desarrollo del método, Técnica de evaluación y revisión de proyectos (PERT), se inició en 1957 cuando la Marina de los Estados Unidos se enfrentó al problema de coordinación y control en el proyecto de submarinos atómicos Polaris, sin embargo,

este sistema junto con el sistema o Método de la ruta crítica (CPM) y Diagrama de Gantt presentan limitaciones como la falta de adaptación al dinamismo de obra, poca previsión de problemas y una programación basada en la experiencia y criterio individual (Aranguren, Quiroga, Solano y Ortiz, 2018).

Los proyectos de construcción operan normalmente entre el 55% y 60% de fiabilidad en tareas planificadas finalizadas, es decir de todas las actividades de una semana se termina un poco más de la mitad planificada (Pons y Rubio, 2019). Las causas de no cumplimiento de actividades con mayor frecuencia surgen de una mala planificación y una mala estimación del rendimiento, además de un desconocimiento de mano de obra, material y equipos (Herrera y Reyes, 2017).

En las obras de edificación desarrolladas en Ocaña no es ajena a la situación mencionada, puesto que se han evidenciado retrasos frecuentes y descoordinación de actividades, además no se han realizado investigaciones sobre la comparación de las metodologías de planificación. Ya que, más allá de los procesos y las técnicas aplicadas, la responsabilidad de alcanzar los objetivos recae sobre el gerente de proyecto, quien, mediante el liderazgo de su equipo, busca el cumplimiento de las metas establecidas (Beltrán, Salas y Vega, 2020).

El desconocimiento de los diferentes sistemas y herramientas de planificación disponibles en el sector de la construcción, provoca que se continúen utilizando los

misimos métodos tradicionales durante la etapa de planificación, incluso en ocasiones realizándose bajo la experiencia y criterio propios, demuestra que el sector se resiste a cambios y adopción de nuevas formas de gestionar los proyectos (Pons y Rubio, 2019).

1.2. Formulación del Problema

¿Qué aporte a la planificación de obras de edificaciones se obtiene al comparar las metodologías CPM-PERT, Gantt y Last Planner System en el proyecto de edificación de OLTA, en Ocaña Norte de Santander?

1.3. Objetivos de Investigación

1.3.1. *Objetivo General*

Comparar las metodologías de planificación CPM-PERT, diagrama de Gantt y Last Planer System, mediante su aplicación en el proyecto de edificación OLTA en el municipio de Ocaña Norte de Santander, identificando diferencias en cuanto a su precisión, claridad y gestión en la planificación de obra.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Caracterizar el proyecto de edificación OLTA en el municipio de Ocaña, mediante la recopilación de planos, rendimientos y cantidades de obra para obtener la información que permita la aplicación de las metodologías de planificación.
- Aplicar las metodologías de planificación CPM-PERT, GANTT y LPS mediante la estructuración de actividades, secuenciación, estimación de duraciones y elaboración de los cronogramas obteniendo el plan de trabajo de cada metodología.
- Comparar las metodologías CPM-PERT, GANTT y LPS, mediante la realización de una matriz comparativa con enfoque en su claridad, precisión y gestión, identificando diferencias en la planificación de proyectos.

1.4. Justificación

La programación en los proyectos de construcción es parte fundamental para garantizar el correcto desempeño en obra, cumpliendo plazos, costos y calidad, es por esto que las empresas han determinado que es imprescindible invertir en los dos procesos de gestión y control (Mattos y Valderrama, 2014).

Los proyectos demuestran ser el conjunto de acciones coordinadas, con tiempos definidos de inicio y finalización, los cuales son establecidos previamente por un individuo o entidad para alcanzar objetivos específicos, que se desarrollan de mejor manera cuando se respetan parámetros de plazos, costos y rendimientos (Rojas, 2017). Los métodos de planificación CPM- PERT y diagrama de Gantt han sido ampliamente utilizados en el sector de la construcción, debido a la facilidad de definir rutas críticas, holguras y estimaciones de la duración de los proyectos. Dado que los clientes exigen a las constructoras cumplir con los plazos de entrega de inmuebles, se hace necesario gestionar los procesos con mecanismos que permitan el cumplimiento de los contratos (Miranda, Torobisco y Gomez, 2020).

En contraste con los métodos tradicionales, se encuentra Last Planner System (LPS) derivado de la filosofía Lean Construction, donde se propone una planificación colaborativa orientada en la confiabilidad del flujo de trabajo, la identificación temprana de restricciones y la reducción de desperdicios en los procesos constructivos. Este sistema busca aumentar el porcentaje de actividades completadas con respecto a las planificadas, mejorando la coordinación

de todos los actores del proyecto, promoviendo una cultura de planificación más realista que busca reducir la variabilidad e incertidumbre en la etapa de ejecución. (Díaz y Rolón, 2020).

En Ocaña Norte de Santander la mayoría de proyectos se planifican mediante sistemas convencionales, lo que posiciona al municipio en igualdad de condiciones con el resto del país, con una tendencia de no cumplimiento de los plazos señalados para la realización de proyectos, donde el 72% presentan demoras y cerca del 16% no se concluyen (Villamizar y Peñaranda, 2020).

La comparación directa de los sistemas en una obra local, permitirá identificar datos relevantes, así como ventajas y limitaciones, para ser evidencia útil para los diferentes actores del sector de la construcción, como lo son, los directores y gerentes de proyectos, Ingenieros, programadores o planificadores de obra, contratistas y contratante, proveedores y administradores de costos y presupuestos, debido a que cada esta información permitirá mejorar la planificación, ejecución, seguimiento, control y toma de decisiones dentro del proceso constructivo, ya que los planes de operaciones permiten a las empresas ajustar futuras estimaciones de rendimientos, duraciones y costos (Gutiérrez, Mora y Quirós, 2021).

1.5. Delimitaciones

1.5.1. *Delimitación Geográfica.*

La investigación se realizará en la planeación de un proyecto de edificación de vivienda unifamiliar en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.2. *Delimitación Temporal*

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se establece una duración de tres (3) meses, donde se realizarán las diferentes actividades necesarias correspondientes para alcanzar los objetivos propuestos, dichas actividades estarán descritas en el cronograma de actividades.

1.5.3. *Delimitación Conceptual*

Con el propósito de realizar esta investigación, se tomarán en cuenta los principios de gestión de proyectos, construcción y proyectos de obra. Además de los conceptos de planificación, tiempo, representación, cronogramas y su correcta aplicación en los sistemas CPM-PERT, diagrama de Gantt y Last Planner System. La investigación se concentra en una evaluación comparativa y teórica de los métodos, no contempla costos, presupuestos, porcentajes de ejecución, debido a que se realizara netamente en la etapa de planificación.

1.5.4. *Delimitación Operativa*

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, la investigación inicia con el estudio y recopilación acerca de los sistemas CPM-PERT, Gantt y LPS, para comprender su funcionamiento y aspectos que permitan desarrollarlos. Posteriormente se caracterizará el proyecto OLTA en Ocaña Norte de Santander proveniente de una constructora de la región, recopilando la información como planos arquitectónicos y estructurales, dicha información será validada para generar cantidades de obra y garantizar los resultados. Es importante destacar que el proyecto es local, se toma con la intención de hacer una investigación regional, por esto mismo se trabajaran datos locales de rendimientos y recursos humanos disponibles de investigaciones anteriores. Con todo esto, se aplicarán los diferentes sistemas de planificación con la misma información, es decir, por medio del cálculo de cantidades obtenidas de los planos recopilados del proyecto y los rendimientos de la región, elaborando cronogramas y planes de trabajo del proyecto OLTA. Finalmente se procederá a realizar una comparación sistemática de los resultados por medio de una matriz de comparación en los niveles de precisión, claridad y gestión que cada metodología ofrece en el contexto local del tipo de proyecto de OLTA, con el fin de obtener la percepción respecto a cada metodología. Con base en estos resultados se formularán conclusiones y recomendaciones orientadas a la planificación de proyectos en la región, determinando la viabilidad de utilizar métodos alternativos como el LPS.

2. Marco referencial

2.1. Marco Histórico

La planificación y gestión de proyectos en el sector de la construcción ha evolucionado significativamente a partir del siglo XX y XXI, en la búsqueda impulsada por la necesidad de optimizar tiempos, costos y recursos, surgen métodos como el Diagrama de Gantt en 1917 y PERT/CPM en la década de 1950. Este periodo marco la era moderna en la gestión de proyectos donde sistemáticamente se aplicaron dichas herramientas y técnicas a la gestión de proyectos (Fustamente, 2014).

El modelo denominado como program Evaluation and Review Techniques (PERT) fue creado por parte de la Oficina de proyectos espaciales de la Armada de los EEUU por el año 1957 como una técnica de medición y control del progreso del desarrollo de “Polaris Fleet Ballistic Missils Program”. Ese mismo año Surgió el CPM, mediante un programa de investigación orientado a optimizar costos y mejorar la planificación y programación de actividades en proyectos complejos.

El origen del LPS está directamente ligado al nacimiento de la filosofía Lean Construction o construcción sin pérdidas, formalizada en 1992 por Lauri Koskela con la publicación “Application of the new production philosophy to construction”, la cual tiene dos focos que la distinguen de los métodos tradicionales que son el desperdicio y la eliminación de

perdidas, y la segunda es la gestión de los flujos en los procesos. Es así como a comienzos de la década de 1990 como respuesta a las limitaciones de los métodos tradicionales de planificación en proyectos de construcción, los cuales presentaban una menor confiabilidad en el cumplimiento de cronogramas y una planificación más débil se desarrolló El Last Planner System (LPS) por Glenn Ballard y Greg Howell, quienes por medio de una revisión crítica a la gestión convencional de proyectos, proponen dicho sistema de planificación con base en compromisos confiables y una participación activa de los ejecutores directos del trabajo. (Hoyos y Botero, 2018).

A lo largo de las últimas décadas, el sistema de planificación por LPS ha sido objeto de diversos estudios teóricos y aplicaciones prácticas en diferentes contextos convirtiéndose en un modelo principal de planificación de la filosofía Lean Construction, integrando los principios de producción, gestión colaborativa y control confiable del flujo de trabajo. Entre su evolución, se incorporó herramientas como la planificación intermedia o también llamada “Lookahead”, el análisis sistemático de restricciones y el indicador Percent Plan Complete (PPC), el cual permitió medir la confiabilidad del plan semanal y promover la mejora continua. (Hoyos y Botero, 2018).

En Colombia, el uso de las metodologías de planificación ha ido de la mano con la modernización y avance del sector de la construcción. En el campo de la ingeniería civil e infraestructura se integró la aplicación de métodos de diagramas de Gantt y CPM, donde CPM- PERT o Gantt se consolidaron como métodos tradicionales en la gestión de proyectos. Sin embargo, el método del Last planner System se ha ido integrando en proyectos de construcción debido a sus ventajas en la optimización de recursos.

En el proyecto titulado “Integración entre el sistema Last Planner y el sistema de gestión de calidad aplicado en la industria de la construcción civil”, se utilizó como estudio de caso la construcción de un edificio en Bucaramanga, Colombia. En el cual utilizando herramientas propias del LPS, como el análisis de restricciones y el indicador Percent Plan Complete (PPC), las cuales fueron incorporadas a los documentos del sistema de calidad para controlar incumplimientos y promover acciones correctivas bajo el ciclo de mejora continua. Al inicio se evidencio dificultades como baja interacción entre las áreas de calidad y planificación, programaciones poco realista y escaso compromiso de ciertos participantes lo que genero afectaciones en la calidad. Sin embargo, por medio del seguimiento sistemático de las causas de no cumplimiento y el fortalecimiento de trabajo colaborativo, se logró mejorar la confiabilidad de la planificación, reduciendo retrabajos y optimizando plazos y costos. Evidenciando que la integración del LPS en proyectos de construcción junto a él SGC contribuyo a estabilizar el flujo de trabajo, optimizar costos y fortalecer la curva de aprendizaje. (Diaz et al. 2019).

En el caso “Implementación del sistema Last Planner System en el sector constructor colombiano: Caso de estudio.” Se evidencio que el sistema del Last Planner System se ha difundido en el sector de la construcción en Colombia durante la última década. Sin embargo, aun presenta falencias importantes en la etapa de aplicación y sostenimiento. Presentando una baja interiorización del sistema en los niveles organizacionales, es decir, en el área lean hasta los subcontratistas y personal operativo, lo que por supuesto limito su efectividad. Además, se observó la necesidad de una mayor articulación entre el plan general, intermedio y semanal para garantizar un verdadero flujo continuo de trabajo. El estudio concluyo que el éxito del LPS requiere de una cultura organizacional sólida, capacitación continua, transferencia de

conocimientos y uso de indicadores que midan su impacto en plazos, costos y desempeño, mientras que la alta rotación de personal y la falta de estos indicadores dificultan su consolidación, con respecto a las causas de no cumplimiento se recomienda utilizar herramientas como los “cinco por qué” con el fin de evitar su recurrencia. (Hoyos y Botero, 2021).

En el caso del departamento de Norte de Santander la planificación de obras o proyectos de construcción ha seguido un proceso tradicional con respecto a la planificación, generalmente la programación se ha realizado con métodos tradicionales tales como Gantt y el uso de CPM- PERT. Se han realizado estudios con el objetivo de mejorar e identificar fallas en la forma en que se planifican las obras. Se logró establecer que la mayoría de las empresas constructoras utilizan gráficas de GANTT para soportar la programación de las obras, pero apenas una tercera parte utiliza rutas críticas en programas como MS Project y solo una quinta parte aplica metodologías combinadas de PERT/CPM, por lo que no se ha generalizado el uso de esta valiosa herramienta dentro del sector constructor de la región. (Villamizar y Peñaranda, 2020).

De acuerdo al análisis histórico de estos sistemas de planificación en los proyectos de obra, desde PERT/CPM, Gantt y Last Planner System (LPS), se demuestra que han surgido con el objetivo de optimizar tiempos, mejorar la efectividad y reducir costos, adaptándose a la complejidad de diferentes proyectos. Por tal razón, es relevante seguir realizando investigaciones con el objetivo de evaluar y comparar los diferentes métodos de programación, para identificar ventajas o limitaciones de acuerdo al tipo de proyecto que se vaya a desarrollar, aportando una planificación más eficiente y contextualizada para el sector de la construcción.

2.2. Marco Contextual

En Ocaña, Norte de Santander, como uno de los municipios más representativos de la región del Catatumbo, enfrenta desafíos significativos asociados al crecimiento poblacional, su expansión urbana y por supuesto sus condiciones socioeconómicas. Lo que ha impulsado muchos proyectos de construcción entre los que destacan inversiones en la construcción de edificios para la educación, la conectividad vial, como el intercambiador vial en el antiguo seguro social: Proyecto que cuenta con una inversión de 22.500 millones de pesos, vía alterna torres del cable - Los lagos, Prolongación del interceptor del río Tejo e Inversión para la mejora y modernización del Estadio Hermidez Padilla, entre otras diferentes obras.

En el caso puntual de Norte de Santander, los reportes consolidados más recientes de la Contraloría General del Departamento determinaron que en el 48% de los municipios se contaba con obras de infraestructura inconclusas, dentro de las cuales, el 72% corresponde a la construcción de edificaciones, el 22% al sector de agua potable y el 6% se refiere a vías. Los municipios más afectados por esta problemática fue Bucarasica, Chinácota, Convención, Pamplonita y Ocaña (Villamizar y Peñaranda, 2020).

Considerando el desarrollo urbanístico de la ciudad de Ocaña y lo mencionado anteriormente demuestra la necesidad de fortalecer las prácticas de planificación y programación de proyectos para mejorar la eficiencia en el sector de la construcción conformado por las empresas constructoras, contratistas, entidades públicas como la alcaldía municipal y la gobernación de Norte de Santander. Instituciones que requieren una programación y métodos

que permitan optimizar recursos y garantizar el cumplimiento de los cronogramas evitando retrasos y sobrecostos que históricamente han afectado al desarrollo de la región.

En el aspecto socioeconómico la construcción es una actividad relevante que genera muchas oportunidades tanto a empresas, ingenieros, mano de obra, supervisores, etc. Por lo tanto, el crecimiento urbano de la región ha impulsado la búsqueda de herramientas de planificación alternativas que permitan identificar si es posible optimizar recursos y cumplir con los cronogramas de una manera más efectiva. Por lo cual se planea realizar una comparativa de métodos de programación de obra como CPM-PERT, Gantt y Last Planner System con el fin de determinar sus diferencias en aspectos como claridad, precisión y gestión en el contexto local de acuerdo al tipo de proyecto a desarrollar, en este caso el edificio OLTA del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

2.3. Marco Conceptual

Gestión de proyectos

Es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con sus requisitos. Es la práctica de planificar, organizar y ejecutar las tareas necesarias para convertir una idea brillante en un producto, servicio o entregable tangible (PMI, 2021).

Programación de un proyecto.

Es la relación de tiempos que especifica cuando se debe iniciar y terminar cada actividad. Por lo general el objetivo del proyecto expresa en el tiempo en el cual se tiene que completar el alcance del proyecto en términos de una fecha específica, acordada entre el cliente y la persona o la organización que realiza el trabajo (López, 2017). Para facilitar su seguimiento y control, durante la programación se realizan cronogramas, los cuales permiten organizar y visualizar las actividades en gráficos, que muestran la duración, dependencias y fechas de inicio y final, permitiendo además identificar riesgos y hacer seguimiento al avance del proyecto.

Holgura

Es el tiempo adicional del cual dispone una actividad sin afectar la fecha de terminación del proyecto. En CPM se calcula de forma determinística y sirve para identificar tareas con flexibilidad temporal. (Torres, 2023).

Rendimientos

El termino rendimiento puede ser remplazado por productividad, relacionado entre lo producido y los medios empleados. Entre 1979 y 1984 Sumanth define aspectos como la productividad parcial, es decir, la proporción que existe entre un resultado y una clase de insumo. Por ejemplo, productividad de la mano de obra. Concepto que permite evaluar la eficiencia en la utilización de recursos en procesos constructivos, facilitando la gestión, optimización y adecuado

uso de recursos en la planificación y ejecución de proyectos. (Arboleda, 2014). Por lo tanto, los rendimientos se entienden como la medida de la producción efectiva de trabajo en actividades constructivas, expresada en términos de obra ejecutada por unidad de recurso, como tiempo o mano de obra. En particular, el rendimiento de la mano de obra se refiere a la cantidad de obra completada por una cuadrilla por unidad de recurso humano, expresada en unidades hora/hombre o d/M. (Velandia, 2022).

Tiempo

El tiempo es una magnitud física fundamental, el cual puede ser medido utilizando una serie de procesos periódicos, es decir, procesos que se repiten de formas idénticas y sin limitaciones de cantidad. En el ámbito productivo, el tiempo es un factor clave para medir el rendimiento, ya que permite determinar cuánto se invierte en la ejecución de una actividad para la obtención de un bien o servicio. (Quintero y Plata, 2017).

Secuenciación de actividades

Es el proceso de identificar y documentar las relaciones lógicas entre las actividades definidas en el cronograma. Es decir, corresponde en determinar el orden en el cual deben ejecutarse las tareas para que el proyecto avance de manera coherente, eficiente y sin interrupciones. (InfoSet, 2018).

CPM (Critical Path Method)

Consiste en la organización de las actividades con base en cuales anteceden a cuáles, enlazadas con un diagrama de red, que conecta mediante flechas los espacios para indicar así prelación o continuidad. Esta estructura permite identificar una secuencia lógica, y con ella determinar la ruta crítica definida como la cadena de actividades que no poseen holgura. Lo más relevante en este tipo de red es el orden en el cual se desarrollan las actividades. (Editorial Etecé, 2025).

PERT (Program Evaluation and Review Technique)

La metodología PERT consiste en la división de un objetivo general en tareas parciales organizadas por precedencia, que muestra el orden en que debe ejecutarse. Usa estimaciones probabilísticas (optimista, pesimista y probable) lo que permite calcular duraciones del proyecto bajo incertidumbre. No solo representa secuencia lógica de tareas y dependencias, sino que también permite identificar la ruta crítica en donde las duraciones varían. Además, su diagrama puede ser utilizado para evaluar el desempeño o eficiencia de un proyecto, centrando especialmente en los tiempos estimados para cada fase. (Valencia, 2025).

Diagrama de Gantt

Es una herramienta valiosa para planificar y coordinar tareas y actividades de un proyecto a lo largo del tiempo. Proporciona una visión general de las actividades planificadas, sus plazos y

las relaciones de dependencia entre ellas. Es así, como el diagrama de Gantt es el cronograma de un proyecto distribuido en una escala temporal utilizando barras horizontales que marcan la duración de cada actividad, permitiendo identificar actividades críticas para cumplir con el tiempo del proyecto. (Choez, et al., 2020)

Planificación

Proceso sistemático mediante el cual se establece de forma general que se hará, por qué y cuáles son los objetivos y recursos a largo plazo. Es una parte importante en la gestión de proyecto, pues se define el alcance del proyecto con un enfoque metódico para alcanzar los objetivos propuestos (UNIR,2024).

Proyecto de obra

Es un esfuerzo temporal encaminado a la creación de un producto o resultado constructivo por medio de un conjunto de documentos que integran información administrativa, económica y técnica, como memorias, planos técnicos, cronogramas, etc. Los cuales son necesarios para llevar a cabo una construcción. (López, 2017).

Gestión de la construcción

Como se menciona en el documento de Construcción: Temas y reflexiones, “De acuerdo a el Construction Industry Institute (CII,1986), se establece como sistema para conseguir una

óptima integración del conocimiento y experiencia constructiva en las operaciones de planificación, ingeniería y construcción, orientado a tratar las peculiaridades de la obra y las restricciones del entorno con la finalidad de alcanzar los objetivos del proyecto”. (Construcción: Temas y reflexiones, 2022, p, 145).

Lean Construction

En líneas generales Lean tiene que entenderse como un sistema y una filosofía de producción cuyos principios fundamentales están orientados a añadir valor al cliente y eliminar los desperdicios. Por lo cual Lean construction engloba todos los conceptos que han surgido bajo el enfoque lean el cual es colaborativo e integrador por definición de cualquier metodología que apoye los principios Lean. (Pons y Rubio, 2021).

Last Planner System (LPS)

Se define como un sistema de planificación y control de la producción para proyectos de construcción. Está basado en la adopción de compromisos de los últimos planificadores. Semanalmente, se mide y analiza el nivel de cumplimiento del plan de producción semanal, se identifican y resuelven las restricciones, se eliminan actividades que no añadan valor y se analiza la causa raíz de los problemas, lo que contribuye a generar flujo continuo de trabajo y obtener un aprendizaje rápido. Se administra mejor la Incertidumbre, reduciendo la variabilidad en la fase de diseño y construcción. (Pons y Rubio, 2021).

2.4. Marco Teórico

La planificación de proyectos mediante CPM-PERT data desde hace décadas, pero continúa siendo fundamental en la gestión de obras modernas, permitiendo controlar tiempos y prever riesgos. En un estudio cuantitativo sobre obras estatales en Norte de Santander, se encontró que el uso de la metodología se relaciona significativamente con el cumplimiento de cronogramas contractuales, evidenciando que una planificación adecuada puede reducir los retrasos en los proyectos de infraestructura (Villamizar y Peñaranda, 2020). Además, en el contexto empresarial, CPM-PERT ha demostrado optimizar las operaciones de una empresa distribuidora, mediante la construcción de diagramas de precedencia permitiendo identificar rutas críticas generando una mayor eficiencia de trabajo (Morán, Dávila y Gonzáles, 2024). Por su parte, plataformas como Asana destacan que los diagramas PERT permiten realizar estimaciones probabilísticas (optimista, probable y pesimista), que ayudan a modelar incluso con la incertidumbre de tareas complejas (Asana Team, 2024). Este enfoque probabilístico es valioso en proyectos de alta variabilidad, pues permite anticipar errores y establecer holguras de manera estratégica.

El diagrama de Gantt, por su parte, sigue siendo una herramienta gráfica muy usada gracias a su claridad y facilidad de comunicación. Aunque no modela la dependencia lógica de las actividades, es muy útil para visualizar la secuencia temporal. Esto ha sido validado en estudios contemporáneos en gestión de proyectos, donde Gantt se usa en combinación con CPM-PERT para planificar y controlar la ejecución de proyectos (Guevara, 2022). Adicionalmente, expertos en construcción recomiendan complementar los diagramas de Gantt con redes de CPM

para superar las limitaciones que se encuentran en proyectos con más de 25 tareas, donde la interdependencia es compleja de representar. Esa combinación de métodos permite una visión macro (Gantt) como un análisis profundo de las rutas críticas (CPM), integrando control, planificación y flexibilidad en el proyecto.

Finalmente, el Last Planner System desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell, propone un sistema de planificación y control en el flujo de trabajo para generar un aprendizaje rápido en programación, diseño y construcción de proyectos. Aumentando la confiabilidad de las tareas reduciendo la variabilidad e incertidumbre de las asignaciones centrándose en lo que se debe hacer dentro de lo que se puede hacer, concibiéndose en primera instancia como el plan maestro o plan general que dirige el proyecto, fase en la que se programa la red lógica de las actividades determinando las restricciones, duraciones y resultados de cada actividad individual. Posterior a esto se trabaja con el “que puede hacerse” o Plan intermedio, donde se analiza que cada grupo de actividades cuente con los recursos que permitan ejecutar dicha actividad sin restricción. El que se hará lo define el plan semanal, proceso en el que se establecen los acuerdos y objetivos en un trabajo colaborativo entre los subcontratistas asignando un responsable por actividad para que verifique que las restricciones se han liberado y pueda ejecutarse. Estas fases permiten posteriormente evaluar durante la etapa de ejecución el porcentaje de actividades planificadas que fueron completadas y las causas de incumplimiento, con el objetivo de retroalimentar al grupo de trabajo y promover el mejoramiento continuo. A través de este proceso el sistema del LPS demuestra ser una posible herramienta que permita reducir la incertidumbre, y mejorar la claridad, precisión, gestión y eficiencia en el proceso de planificación de proyectos de construcción con respecto a las metodologías tradicionales en su

etapa de programación. (Hoyos y Botero, 2021). A continuación, se presenta una descripción general de los fundamentos teóricos de las metodologías CPM/PERT, Gantt y LPS.

Método CPM/PERT

Las metodologías CPM/PERT comprenden herramientas de planificación y control muy utilizadas en gestión de proyectos. Este método que combina tanto el análisis probabilístico de tiempos para gestionar incertidumbre y el aporte determinístico de cpm permite representar de manera grafica las actividades que constituyen un proyecto. Por medio del uso de flechas que indican la secuencia de operación y permiten identificar la duración o tiempo necesario para completar cada actividad. Entre las particularidades de este método está en considerar un tiempo variable por tarea, permitiendo manejar la incertidumbre de tal forma que se trabaja con un T_e = tiempo esperado partiendo de un T_o = tiempo optimista, T_p = tiempo pesimista y T_n = tiempo normal (Torres, 2023).

$$T_e = \frac{T_o + 4T_n + T_p}{6}$$

A través de este método combinado con CPM y su representación se puede obtener información como: tiempo mayor, tiempo menor o inicio temprano/tardío y terminación temprana/tardía, holgura y ruta crítica, aquella con la holgura mínima. Para el desarrollo de este método se identifican actividades que dan inicio al proceso, posteriormente se determina la relación entre actividades, es decir, identificar dependencias y orden lógico en el que deben ejecutarse o si se desarrollan de forma simultaneas. Posteriormente se realiza la representación

de la red de actividades para visualizar la secuencia y se calcula la estimación de tiempos con la cual se determina la ruta crítica que define la duración total del proyecto. (León y Vásquez, 2022).

Tabla 1

Actividades de ejemplo para la aplicación del método CPM/PERT

ACTIVIDAD	PRECESORA	TO	TN	TP	TE
A	-	2	4	6	4
B	A	3	5	9	5.3
C	A	1	2	3	2
D	B	2	3	4	3
E	B, C	1	2	3	2
F	D, E	2	3	5	3.3

Para determinar el camino de la ruta crítica se hallan los tiempos tempranos calculando de izquierda a derecha; considerando seleccionar el valor más alto en caso de dos o más alternativas. En la segunda etapa, se encuentran los tiempos retrasados y el cálculo del tiempo se realiza de derecha a izquierda, iniciando con el valor más alto que corresponde a su vez con la duración total del proyecto. (Torres, 2023).

Figura 1

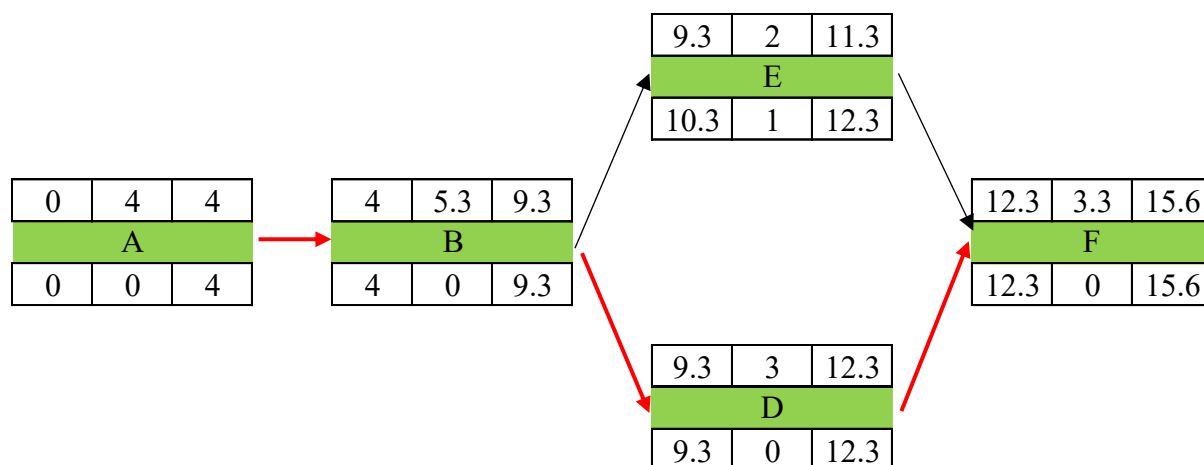
Información para el cálculo de la ruta crítica.

IT	DURACION	FT
ACTIVIDAD		
IL	HOLGURA	FL

IT = INCIO TEMPRANO
 IL = INICIO LEJANO
 FT = FIN TEMPRANO
 FL = FIN LEJANO
 HOLGURA = $IL - IC = TL - TC$

Figura 2

Ejemplo Diagrama de red CPM/PERT



Nota. La Ruta crítica corresponde a la secuencia de las actividades A - B - D - F.

Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta de gestión de proyectos que permite visualizar gráficamente el trabajo a ejecutar con base en un cronograma en el cual su estructura se compone de dos partes, una vertical y otra horizontal, en la parte izquierda se describe la serie de actividades que desglosan y permiten la ejecución del proyecto y a su derecha se traza un cronograma utilizando barras horizontales que representan una etapa del proceso y su longitud

corresponde a la duración estimada de dicha tarea. Es una forma bastante utilizada para visualizar la programación de un proyecto, además de dar seguimiento al cronograma y ejecución de las actividades. Su forma gráfica de dos dimensiones, representan en el eje vertical las actividades y en el eje horizontal la duración de las mismas, las cuales pueden precisarse en días, semanas, meses, etc. En el proceso de programación, el diagrama de Gantt permite visualizar de igual forma las relaciones de precedencia entre actividades por medio del posicionamiento de las barras horizontales representando el tiempo de inicio y fin para cada actividad. (Torres. 2023).

Last Planner Systems (LPS)

El LPS es una metodología de planificación y control de proyectos, con el objetivo de mejorar la confiabilidad de la programación por medio de un trabajo colaborativo entre todos los involucrados que ejecutan el proyecto, es decir, se le da gran relevancia al “ultimo planificador”, donde todos los involucrados adquieren compromisos. En este proyecto, el Last Planner System se implementa hasta el nivel o plan semanal, lo que no incluye la fase de control y operativa, ya que se enfoca principalmente en la estructuración y comparación de los planes de trabajo.

Para el desarrollo del método por LPS se trabaja en primer lugar con el plan maestro, siendo la planificación de alto nivel, donde se definen hitos principales, fechas claves, duración total y se establecen las fases del proyecto. Como segunda etapa se trabaja en el llamado Lookahead o planº intermedio, donde su importancia radica en la preparación del trabajo futuro identificando restricciones y asegurando un flujo continuo de obra. Y por último en el desarrollo de este

proyecto o etapa de planificación se realiza el plan semanal, siendo el nivel más detallado. Es la etapa donde se definen las actividades que se ejecutaran en una semana, con base en los compromisos adquiridos y las tareas que están libres de restricciones, esto permite asegurar compromisos claros, mejorar seguimiento de avances y confiabilidad en la ejecución. Ya en la ejecución de la obra o parte operativa, esto permite analizar el porcentaje de plan cumplido (PPC), es decir, los compromisos o tareas adquiridas con las tareas cumplidas con ventaja de aprender, analizar causas de incumplimiento y realizar reuniones de mejora continua. (Hoyos y Botero, 2021).

2.5. Marco Legal

El desarrollo de los proyectos de construcción en Colombia se regula por el conjunto de normas que orientan la planificación, la programación, ejecución y control en obra. Todo esto se realiza para garantizar la transparencia, eficiencia y cumplimiento técnico con calidad.

Ley 80 de 1993: Estatuto General de Contratación de la Administración Pública, establece los principios de planeación y responsabilidad de los contratos estatales. Determina que antes de iniciar cualquier proyecto es obligatorio realizar una programación adecuada y técnica, lo que implica la utilización de metodologías de planificación.

Ley 1150 de 2007: introduce medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con Recursos Públicos, refuerza la importancia de la planeación, exige una definición clara y cuantificable de los

tiempos del proyecto dentro los estudios previos y el pliego de condiciones. Promueve el uso de técnicas de programación verificables, que facilite el control de interventoría y análisis de posibles retrasos.

Decreto 1082 de 2015: expide el decreto único reglamentario del sector Administrativo de Planeación Nacional, reglamenta la elaboración de estudios previos, formatos de seguimiento y reportes de avance. Este decreto obliga presentar un cronograma detallado como parte fundamental de la estructura del proyecto, haciendo indispensable el uso de CPM-PERT, Gantt o last planner system, entre otras. Para demostrar la viabilidad técnica y temporal de la obra.

Ley 1474 del 2011: Estatuto Anticorrupción, incorpora requisitos orientados a prevenir retrasos injustificados y sobre costos, exigiendo una mayor rigurosidad al seguimiento de cronogramas. Esto implica que los proyectos deben contar con una programación de obra confiable y actualizable, que pueda ser auditada y contrastada con el avance real en obra.

Decreto 019 del 2012: Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública, conocida como la Ley anti trámites, exigen procesos más eficientes y sustentados técnicamente, lo que impulsa la estandarización de la programación para facilitar la revisión y validación por parte de los entes de control competentes.

Decreto 1077 de 2015: por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, establece que los proyectos de construcción deben presentar un programa de obra coherente con las etapas constructivas y los requisitos de licencia.

Ley 400 de 1997 y NSR-10: establecen que las construcciones deben realizarse con una secuencia técnica adecuada, lo que demanda una programación organizada que permita coordinar cada etapa del proceso constructivo con criterios de seguridad y calidad.

Manual de Interventoría de obra civiles (INVIAS): de carácter obligatorio en proyectos financiados con recursos públicos. Exigen cronogramas detallados y actualizados mediante herramientas de planificación que permitan una correcta y eficaz vigilancia.

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

Este proyecto se realiza con un tipo de investigación descriptiva y comparativa, enfocada en un análisis cualitativo al realizar una recopilación documental. Está orientada en analizar y comparar las características, estructura y resultados de cada metodología de planificación CPM- PERT, Gantt y LPS, en el proyecto de edificación OLTA en la ciudad Ocaña Norte de Santander.

Su carácter descriptivo se fundamenta en la búsqueda de los detalles, como cada método representa el tiempo, la secuencia de actividades y la estructura lógica en un proyecto de construcción, sin intervenir el proceso real de obra. Es cualitativa porque se enfoca en la interpretación conceptual, procedimental y visual de los métodos de planificación, evaluando sus características, ventajas y limitaciones.

Finalmente, se considera no experimental, dado que la investigación se genera a partir de información teórica y documental existente, sin modificar las condiciones del proyecto, concentrándonos únicamente en la etapa de planeación como momento de investigación. Aunque los métodos de planificación incluyan elementos numéricos y duraciones, no constituyen un análisis cuantitativo ni estadístico del proyecto.

3.2. Población y Muestra

La población del estudio está conformada por el conjunto de actividades y procesos que conforman la etapa de planeación del proyecto de edificación OLTA, ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Así como todos los elementos técnicos que conforman la estructura del proyecto, tales como secuencia lógica, ruta crítica y planes de trabajo. También la conforman los diferentes métodos de planificación empleados comúnmente en la gestión de proyectos de construcción (CPM-PERT, Gantt, LPS) ya que constituyen el análisis conceptual del presente estudio. De esta manera la investigación se orienta a comprender el comportamiento y representación de las metodologías de programación.

La muestra se constituye de las subactividades, fases y relaciones del proyecto OLTA que se utilizaran para lograr comparar los métodos. Esta muestra incluye las actividades esenciales necesarias para generar cronogramas de obra, como lo son excavaciones, cimentación, estructura, mampostería, entre otras. Es importante destacar que la selección se realiza de manera directa e intencional y no probabilística, ya que se eligen las tareas que permitan representar de manera clara las secuencias constructivas y las diferencias de los tres métodos aplicados. Con esto, la muestra resulta suficiente para realizar la comparación, sin necesidad de abarcar todo el ciclo del proyecto de construcción, ni es necesario incluir variables ajenas al propósito del estudio, como lo son costos o porcentajes de ejecución.

4. Resultados

4.1. Caracterizar el proyecto de edificación OLTA en el municipio de Ocaña, mediante la recopilación de planos, rendimientos y cantidades de obra para obtener la información que permita la aplicación de las metodologías de planificación

Con el fin de realizar la comparación entre las diferentes metodologías de planificación. La primera fase se orientó a la recopilación, organización y sistematización de la información técnica correspondiente al proyecto de edificación de OLTA, ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

La caracterización se realizó por medio de una serie de actividades principales: Primero, la recopilación de la documentación técnica se llevó a cabo mediante el envío de una solicitud a los encargados del proyecto, donde se obtuvo acceso a la información por parte de la constructora a los planos arquitectónicos y estructurales de la edificación, así como las especificaciones técnicas de construcción. Posteriormente, se trabajó en la organización y sistematización de dicha información mediante la elaboración de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) y el cálculo de las cantidades de obra, paralelamente se recopiló información acerca de los rendimientos en la región de Ocaña, zona caracterizada por ser un centro subregional de importancia en el nororiente colombiano, con condiciones topográficas y climáticas específicas, por lo cual se utilizaron base de datos como Construdata y el proyecto

titulado “Estudio de rendimientos de mano de obra en viviendas de interés social para la creación de una base de datos real del municipio de Ocaña, Norte de Santander”.

Por último, se consolidó y se organizó toda información técnica en el presente capítulo con el propósito de caracterizar el proyecto de forma que pueda ser susceptible al análisis de las metodologías de planificación, esta fase permitió definir el alcance real del proyecto, definir actividades, calcular cantidades obra y rendimientos de mano de obra, fundamentos bases para la aplicación de los métodos de planificación de proyectos de construcción.

4.1.1 Descripción general del proyecto de OLTA y análisis de la documentación técnica.

El Proyecto de OLTA corresponde a la edificación de una vivienda unifamiliar obra nueva localizada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en la Urb lago V etapa. A continuación, se presentan las características generales del proyecto de estudio. Ver Tabla 2.

Tabla 2

Descripción general del proyecto de OLTA Vivienda Unifamiliar.

ITEM	DESCRIPCION
Nombre del proyecto	Vivienda unifamiliar obra nueva
Ubicación	Mz 4 lote 1, Urb Lago V Etapa, Ocaña.
Tipo o uso de edificación	Residencial
Área total del lote	119 m ²
Área total construida	291.81 m ²
Area libre	16 m ²
Numero de niveles	2
Sistema estructural	Tipo pórtico resistente a momentos.
Planos disponibles	Planos arquitectónicos y estructurales.

La revisión y análisis de los planos arquitectónicos y estructurales permitió contar con información confiable y verificable para identificar el conjunto correspondiente a los entregables del proyecto, así como las condiciones técnicas particulares que inciden sobre su planificación o alcance de la obra. Para la elaboración del presente trabajo, no se incluyen los planos de instalaciones hidrosanitarias e instalaciones eléctricas. La documentación recopilada fue la siguiente.

Planos Arquitectónicos: Plantas de distribución, fachada, cortes, geometría, distribución de espacios, tipo de uso de la edificación, escala, elementos como muros, ancho de puertas, ventanas, escaleras, cotas y niveles de altura entre pisos, cuadro de áreas, localización del proyecto, nombre del proyecto y detalles de materiales. Ver Tabla 3.

Tabla 3

Descripción general del contenido del plano arquitectónico.

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCION
1.0	Vista en planta	Representación en vista superior de cada nivel especificando distribución, áreas, espesor de muros y ubicación de elementos.
1.1	Planta N+0.0 m	Area de 119m2 con distribución de garaje, sala, cocina-comedor, escaleras, habitaciones, patio y baños.
1.2	Planta N+2.90 m	Habitaciones, área de vacíos, escaleras, baños, balcón.
1.3	Planta cubierta	Pendiente 10%, tipo de material, área de cubierta.
2.0	Cortes	Visualización de la relación de altura entre niveles, proporciones y dimensiones de aberturas.
2.1	Corte longitudinal AA	Cotas de alturas, muros, ventanas, puertas, etc.
2.2	Corte transversal	Cotas de alturas, muros, puertas, balcón, etc.
2.3	Fachada	Alturas entre niveles, tipos de materiales, barandal, puerta principal.
3.0	Cuadro de áreas	Cuadro de áreas con área total lote, área total construida (1er y 2do nivel), aislamiento posterior, antejardín y área libre.
4.0	Localización	Localización específica en el municipio de Ocaña.

Planos estructurales: Diseño, distribución, dimensiones, secciones y niveles de cada elemento estructural. Es decir, tipo y dimensiones de la cimentación, cuadro de elementos de fundación, especificaciones del suelo, especificaciones del concreto a utilizar, especificaciones técnicas del acero, especificaciones técnicas de entrepiso y cubierta, especificaciones técnicas y detalles de losa y riostra, plantas de cimentaciones y niveles, columnas, vigas, tipo de losas,

refuerzos y cantidades de acero, rellenos, compactación, excavaciones, detalles y cortes de escaleras. Ver Tabla 4.

Tabla 4

Descripción general del contenido de los planos estructurales.

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1.0	Cimentación	Zapatas, pedestales y vigas de amarre.
1.1	Zapata tipo 1	4 zapatas de (1.0x1.0x0.35) m
1.2	Zapata tipo 2	1 zapata (1.20x0.80x0.35) m
1.3	Zapata tipo 3	2 zapatas (1.20x0.80x0.35) y 8 zapatas (0.80x1.20x0.35) m
1.4	Zapata tipo 4	4 zapatas (1.20X1.20X 0.35) m
1.5	Pedestales	(0.30x0.25x0.90) m y (0.25x0.25x0.90) m
1.6	Viga de cimentación	(0.25 x 0.25) m
1.7	Vigas aux de cimentación	(0.20 x 0.25) y (0.30 x 0.25) m
2.0	Columnas	
2.1	Columnas tipo 1	6 columnas (0.30 x 0.25)
2.2	Columnas tipo 2	1 columna (0.35 x 0.25)
2.3	Columnas tipo 3	12 columnas (0.25x0.25)
3.0	Vigas entrepiso y cubierta	
3.1	Vigas entrepiso n+2.90m	(0.25x0.30) m
3.2	Vigas auxiliares entrepiso	(0.25x0.30) m y (0.20x0.30) m
3.3	Vigas de cubierta n +5.8m	(0.25x0.30) m
4.0	Losas	
4.1	Losa de contrapiso	E = 0.07 m con malla e. (4mm -15x15 cm)
4.2	Losa de entrepiso	E = 0.05 m con riostras de 0.25 m y una malla electrosoldada: 5mm s/15cm
5.0	Especificaciones del suelo	Perfil tipo D
6.0	Especificaciones del acero	Diámetro de 1/2", 5/8" y 3/8" con $f_y=420$ MPa
7.0	Especificaciones del concreto.	Resistencia a la compresión: $f_c = 21.1$ MPa
8.0	Especificaciones de escaleras	Cuadro de descripción de escaleras
8.1	Ancho	0.95 m
8.2	Espesor	E = 0.15 m
8.3	Huella y contra huella	H = 0.27 m y CH = 0.18 m

4.1.2 Elaboración de la estructura de desglose de trabajo (EDT), cálculo de cantidades de obra y obtención de rendimientos.

Con base en la documentación recopilada, se realizó el análisis y la sistematización de la información técnica del proyecto mediante la elaboración de la estructura de desglose de trabajo (EDT), constituyendo así la descomposición jerárquica del alcance del proyecto, con el objetivo de definir las actividades elementales para su programación y organización de los paquetes de trabajo.

Paralelo a la elaboración de la EDT, se realizó el cálculo de cantidades de obra para cada una de las actividades identificadas. Este procedimiento se efectuó a partir del análisis directo de los planos del proyecto, aplicando metodologías de cálculo de áreas, volúmenes, longitudes y unidades de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas en el proyecto.

Las actividades y cantidades obtenidas junto a la recolección de información acerca de rendimientos de mano de obra en la región constituyen el soporte cuantitativo para la estimación de duraciones en la fase de planificación. Cabe mencionar que los datos de rendimientos, como los tomados del proyecto de Quintero y Plata, fueron obtenidos mediante el método de estimación por tres valores. En consecuencia, las duraciones de las actividades calculadas a partir de dichos rendimientos se consideran como los tiempos estimados de entrada para el método CPM/PERT, dado que estos rendimientos ya consideran la incertidumbre probabilística propia de PERT, donde el tiempo se considera una variable con base en una distribución probabilística

beta. Las memorias de la hoja de cálculo de cantidades se presentan en el Apéndice 1 y los resultados obtenidos se muestran a continuación, Ver Tabla 5.

Tabla 5

Estructura de desglose de trabajo (EDT), cantidades de obra y rendimientos.

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1	VIVIENDA UNIFAMILAIR					
1.1	PRELIMINARES					
1.1.1	Localización y replanteo	m ²	133	1 : 1	0.010	quintero, plata
1.1.2	Cerramiento en tela verde h=2.10 m	ml	56	1 : 1	0.275	construprecios
1.1.3	Descapote y retiro con maquina e = 0.2 m	m ²	133	0 : 1	0.040	construprecios
1.1.4	Servicios provisionales					
1.1.4.1	Red provisional de agua	und	1	1 : 1	16.000	construprecios
1.1.4.2	Red provisional de luz	und	1	1 : 1	24.000	construprecios
1.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
1.2.1	Excavación manual sin clasificar					
1.2.1.1	Excavación para vigas de cimentación	m ³	4.55	0 : 1	3.230	quintero, plata
1.2.1.2	Excavación para zapatas y pedestales	m ³	39.62	0 : 1	3.230	quintero, plata
1.2.2	Relleno y compactación					
1.2.2.1	Relleno con material seleccionado	m ³	20.51	1 : 1	1.040	quintero, plata
1.2.2.2	Compactación de Sub base granular	m ³	11.9	0 : 1	3.400	construprecios
1.2.3	Retiro de material excavado sobrante	m ³	23.66	0 : 1	0.670	construprecios
1.3	CIMENTACION					
1.3.1	Obras en concreto simple					

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1.3.1.1	C. de saneamiento solado e = 0.05 m	m ²	20.32	1 : 1	0.460	quintero, plata
1.3.1.2	Concreto ciclópeo	m ²	8.128	1 : 1	11.250	construprecios
1.3.2	Obras en concreto reforzado					
1.3.2.1	Zapatas	m ³	7.69	1 : 1	4.550	quintero, plata
1.3.2.2	Pedestales	m ³	1.16	1 : 1	4.550	quintero, plata
1.3.2.3	Vigas de amarre de cimentación	m ³	5.50	1 : 1	12.500	quintero, plata
1.3.2.4	Vigas aux de amarre de cimentación	m ³	1.18	1 : 1	12.500	quintero, plata
1.4	ACERO DE REFUERZO Fy = 420 Mpa					
1.4.1	Acero de Ref de zapatas 1/2"	kg	248.02	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.2	Acero de Pedestales y Columnas N1					
1.4.2.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	906.53	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.2.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	539.616	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.3	Acero vigas de cimentación					
1.4.3.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	442.33	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.3.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	373.63	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.4	Acero de vigas Aux de cimentación					
1.4.4.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	103.9724	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.4.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	90.552	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.5	Acero vigas de entrepiso N1+2.90 m					
1.4.5.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	269.4734	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.5.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	499.408	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.5.3	Acero de Refuerzo 5/8"	kg	306.6752	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.6	Acero vigas aux de entrepiso N1+2.90 m					
1.4.6.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	54.0736	1 : 1	0.060	quintero, plata

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1.4.6.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	48.4512	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.7	Acero de Columnas Nivel 2					
1.4.7.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	377.72	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.7.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	225.6576	2 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.8	Acero vigas de Cubierta +5.80 m					
1.4.8.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	456.86184	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.8.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	505.9936	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.9	Acero losa aligerada					
1.4.9.1	Acero de Refuerzo 1/2"	kg	231.90	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.9.2	Acero de Refuerzo 3/8"	kg	219.99	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.4.10	Mallas electrosoldadas para losas					
1.4.10.1	M.E. 4mm -15x15 cm losa de contrapiso	m ²	119	1 : 1	0.030	construprecios
1.4.10.2	M. E. 5mm: s/15cm losa aligerada de entrepiso	m ²	100	1 : 1	0.030	construprecios
1.4.11	Acero de refuerzo de escaleras de 1/2 "	kg	190.05	1 : 1	0.060	quintero, plata
1.5	ESTRUCTURAS DE CONCRETO					
1.5.1	Losa de contrapiso e = 0.07 m	m ²	119.00	1 : 1	0.990	construprecios
1.5.2	Columnas de concreto f _c = 21.1 MPa					
1.5.2.1	Vaciado de concreto de columnas N1	m ³	3.35	1 : 1	30.000	construprecios
1.5.2.2	Vaciado de concreto de columnas N2	m ³	3.35	1 : 1	30.000	construprecios
1.5.3	Vigas de entrepiso f _c =21.1 MPa					
1.5.3.1	Vaciado de concreto para vigas N1	m ³	6.36	1 : 1	29.100	construprecios
1.5.3.2	Vaciado de concreto vigas auxiliares N1	m ³	0.70	1 : 1	29.100	construprecios

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1.5.4	Losa aligerada casetón de madera e = 0.25m	m ²	100	1 : 1	1.270	quintero, plata
1.5.5	Vaciado de concreto para vigas Cubierta N+5.80m	m ³	6.19	1 : 1	29.100	construprecios
1.5.6	Concreto para escaleras	ml	4.40	1 : 1	0.680	construprecios
1.5.7	Mesón en concreto	m ²	6.76	1 : 1	1.390	quintero, plata
1.6	MAMPOSTERIA					
1.6.1	Muro en bloque H10					
1.6.1.1	Muro en bloque H10 Nivel 1	m ²	168.34	1 : 1	0.700	quintero, plata
1.6.1.2	Muro en bloque H10 Nivel 2	m ²	178.07	1 : 1	0.700	quintero, plata
1.6.2	Pañete rustico para muro 1:5					
1.6.2.1	Pañete rustico interior nivel 1	m ²	269.95	1 : 1	0.440	quintero, plata
1.6.2.2	Pañete rustico interior nivel 2	m ²	277.91	1 : 1	0.440	quintero, plata
1.6.2.3	Pañete rustico exterior	m ²	19.13	1 : 1	0.440	quintero, plata
1.7	CUBIERTA					
1.7.1	Cubierta master 1000	m ²	120.81	1 : 1	0.970	construprecios
1.8	ACABADOS					
1.8.1	Estuco plástico					
1.8.1.1	Estuco plástico nivel 1	m ²	269.95	1 : 1	0.190	quintero, plata
1.8.1.2	Estuco plástico nivel 2	m ²	277.91	1 : 1	0.190	quintero, plata
1.8.1.3	Estuco plástico exterior	m ²	19.13	1 : 1	0.190	quintero, plata
1.8.2	Pintura sobre estuco (2 Manos)					
1.8.2.1	Pintura sobre estuco nivel 1	m ²	269.95	1 : 1	0.170	quintero, plata
1.8.2.2	Pintura sobre estuco nivel2	m ²	277.91	1 : 1	0.170	quintero, plata

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1.8.2.3	Pintura sobre estuco exterior	m ²	19.13	1 : 1	0.170	quintero, plata
1.8.3	Drywall 1/2"					
1.8.3.1	Drywall 1/2" Nivel 1	m ²	84.84	1 : 1	0.600	construprecios
1.8.3.2	Drywall 1/2" Nivel 2	m ²	90.87	1 : 1	0.600	construprecios
1.9	PISOS Y ENCHAPES					
1.9.1	Antepiso e = 0.05					
1.9.1.1	Antepiso e = 0.05 m nivel 1	m ²	111	1 : 1	0.230	quintero, plata
1.9.1.2	Antepiso e = 0.05 m nivel 2	m ²	92.71	1 : 1	0.230	quintero, plata
1.9.2	Piso cerámico 45x45					
1.9.2.1	Piso cerámico 45x45 nivel 1	m ²	93.08	1 : 1	0.490	quintero, plata
1.9.2.2	Piso cerámico 45x45 nivel 2	m ²	80.05	1 : 1	0.490	quintero, plata
1.9.3	Patio piso cerámica 35X35	m ²	26.72	1 : 1	1.090	quintero, plata
1.9.4	Guardaescoba					
1.9.4.1	Guardaescoba Nivel 1	ml	95.65	1 : 1	0.040	quintero, plata
1.9.4.2	Guardaescoba Nivel 2	ml	80.81	1 : 1	0.040	quintero, plata
1.9.5	Cerámica para muros y piso de baño 35X35					
1.9.5.1	Cerámica baños muros y baños 35X35 N1	m ²	14.42	1 : 1	1.090	quintero, plata
1.9.5.2	Cerámica para muros y baños 35X35 N2	m ²	17.58	1 : 1	1.090	quintero, plata
1.10.	CARPINTERIA					
1.10.1	Marco puerta en madera (1.0X2.0X0.8)	und	7	1 : 1	0.710	quintero, plata

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	CUADRILLA	RENDIMIENTO (H/UND)	FUENTE DE RENDIMIENTOS
1.10.2	Hoja puerta 1.0X2.0	und	7	1 : 1	0.140	quintero, plata
1.10.3	Puerta principal metálica (1.30X3.90)	und	1	1 : 1	4.000	construprecios
1.10.4	Baranda vidrio y acero h = 1m	ml	9.9	1 : 1	2.250	construprecios
1.10.5	Ventanas	und	2	1 : 1	2.250	construprecios
1.10.6	Portón reja metálico (2.8X2.6) m	und	1	1 : 1	2.250	construprecios
1.11	ASEO GENERAL	glob	1	0:1		

Nota. Para la elaboración de la EDT no se contemplan dentro de su alcance los capítulos correspondientes a instalaciones

hidrosanitarias e instalaciones eléctricas, debido a que estos componentes no hacen parte de la documentación disponible del presente proyecto.

4.2. Aplicar las metodologías de planificación CPM-PERT, Gantt y LPS mediante la estructuración de actividades, secuenciación, estimación de duraciones y elaboración de los cronogramas obteniendo el plan de trabajo de cada metodología.

Con el fin de estructurar la planificación del proyecto y aplicar las diferentes metodologías de programación que permitan organizar, secuenciar y controlar actividades para determinar la duración del proyecto, se contempla el fundamento teórico de las metodologías aplicables en este caso de estudio.

El punto de partida para la aplicación de las 3 metodologías fue la elaboración de la estructura de desglose (EDT) presentada en el capítulo 4.1.2, cabe mencionar que anteriormente las actividades de acero de refuerzo se consideraron separadas por diámetro para la EDT. Sin embargo, estas actividades se unificaron en una sola, con el fin de obtener una duración total representativa y facilitar su análisis e incorporación en la programación ya que se desarrollan en conjunto por cada elemento estructural.

Cada actividad presenta una duración estimada calculada a partir de las cantidades de obra y rendimientos en la tabla número 5, adicionalmente se tuvo en cuenta la asignación del número de cuadrillas que desarrollan la actividad. Las duraciones se expresaron en Días R (días redondeados al próximo entero) y fueron obtenidas utilizando la siguiente fórmula.

$$Dias R = R\left(\frac{Cantidad (und) * Rendimiento \left(\frac{h}{und}\right)}{8\left(\frac{h}{dia}\right) * (\#de Cuadrillas)}\right)$$

Establecimiento de precedencias y lógica constructiva.

La definición de las relaciones de precedencia entre las actividades corresponde al paso más crítico en la elaboración de la información para la aplicación de las metodologías de programación, debido a que determinan la lógica del flujo de trabajo y la posición temporal de cada actividad. Para el desarrollo de las predecesoras se tuvo en cuenta los siguientes criterios.

Dependencia física directa: Corresponde a aquellas actividades que no pueden iniciar sin que su predecesora haya terminado (FS).

Frentes de trabajo: Se considero el número de cuadrillas que compiten u ocupan el mismo espacio físico, evitando desarrollar actividades que afecten el desarrollo de una con la otra.

Actividades en paralelo: Se identificaron actividades que pueden avanzar de manera simultánea sin interferir entre sí. Este criterio permite el avance por niveles, es decir, desarrollo mampostería nivel 1 durante la continuación de los elementos del nivel 2.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las duraciones y las predecesoras de cada actividad como base fundamental para la aplicación de las diferentes metodologías de programación. Ver Tabla 6.

Tabla 6

Lista de actividades con duraciones y predecesoras para la planificación por GANTT, CPM/PERT y LPS

Ítem	Actividad	UND	Cantidad	Rendimiento (h/und)	N cuadrilla	Días R	Predecesora
1	VIVIENDA UNIFAMILAIR						
1.1	PRELIMINARES						
1.1.1	Localización y replanteo	m ²	133.00	0.01	1	1	1.1.3
1.1.2	Cerramiento en tela verde h=2.10 m	ml	56.00	0.275	1	2	1.1.1
1.1.3	Descapote y retiro con maquina e = 0.2 m	m ²	133.00	0.04	1	1	INICIO
1.1.4	Servicios provisionales						
1.1.4.1	Red provisional de agua	und	1.00	16	1	2	1.1.2
1.1.4.2	Red provisional de luz	und	1.00	24	1	3	1.1.2
1.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
1.2.1	Excavación manual sin clasificar						
1.2.1.1	Excavación para vigas de cimentación	m ³	4.55	3.23	1	2	1.1.2
1.2.1.2	Excavación para zapatas y pedestales	m ³	39.62	3.23	2	8	1.1.2
1.2.2	Relleno y compactación						
1.2.2.1	Relleno con material seleccionado	m ³	20.51	1.04	2	2	1.3.2.3 / 1.3.2.4
1.2.2.2	Compactación de Sub base granular	m ³	11.90	3.4	2	3	1.2.3
1.2.3	Retiro de material excavado sobrante	m ³	23.66	0.67	2	1	1.2.2.1
1.3	CIMENTACION						
1.3.1	Obras en concreto simple						

Ítem	Actividad	UND	Cantidad	Rendimiento (h/und)	N cuadrilla	Días R	Predecesora
1.3.1.1	C. de saneamiento solado e = 0.05 m	m ²	20.32	0.46	1	2	1.2.1.2 / 1.1.4.1 / 1.1.4.2
1.3.1.2	Concreto ciclópeo	m ³	8.13	11.25	2	6	1.3.1.1
1.3.2	Obras en concreto reforzado						
1.3.2.1	Zapatas	m ³	7.69	4.55	2	3	1.4.1 / 1.4.2
1.3.2.2	Pedestales	m ³	1.16	4.55	1	1	1.3.2.1
1.3.2.3	Vigas de amarre de cimentación	m ³	5.50	12.5	2	5	1.3.2.2 / 1.4.3 / 1.4.4
1.3.2.4	Vigas auxiliares de amarre de cimentación	m ³	1.18	12.5	1	2	1.3.2.2 / 1.4.3 / 1.4.4
1.4	ACERO DE REFUERZO Fy = 420 Mpa						
1.4.1	Acero de ref de zapatas	kg	248.02	0.06	2	1	1.3.1.2
1.4.2	Acero de pedestales y columnas N1	kg	1446.14	0.06	2	6	1.4.1
1.4.3	Acero vigas de cimentación	kg	815.96	0.06	2	4	1.2.1.1
1.4.4	Acero de vigas aux de cimentación	kg	194.52	0.06	2	1	1.2.1.1
1.4.5	Acero vigas de entrepiso N1+2.90 m	kg	1075.56	0.06	2	5	1.5.2.1
1.4.6	Acero vigas Aux de entrepiso N1+2.90 m	kg	102.52	0.06	2	1	1.5.2.1
1.4.7	Acero de columnas Nivel 2	kg	603.38	0.06	2	3	1.5.3.1 / 1.5.3.2 / 1.5.4
1.4.8	Acero vigas de cubierta +5.80 m	kg	962.86	0.06	2	4	1.5.2.2
1.4.9	Acero losa aligerada	kg	451.89	0.06	2	2	1.4.5 / 1.4.6
1.4.10	Mallas electrosoldadas (M.E.) para losas						
1.4.10.1	M.E. 4mm -15x15 cm losa de contrapiso	m ²	119.00	0.03	1	1	1.2.2.2
1.4.10.2	M.E. 5mm: s/15cm losa aligerada de entrepiso	m ²	100.00	0.03	1	1	1.4.9
1.4.11	Acero de refuerzo de escaleras de 1/2 "	kg	190.05	0.06	1	2	1.5.4 / 1.5.1
1.5	ESTRUCTURAS DE CONCRETO						
1.5.1	Losa de contrapiso e = 0.07 m	m ²	119.00	0.99	3	5	1.4.10.1

Ítem	Actividad	UND	Cantidad	Rendimiento (h/und)	N cuadrilla	Días R	Predecesora
1.5.2	Columnas de concreto $f_c = 21.1$ MPa						
1.5.2.1	Vaciado de concreto de columnas N1	m ³	3.35	30	2	7	1.3.2.3 / 1.3.2.4 / 1.2.3
1.5.2.2	Vaciado de concreto de columnas N2	m ³	3.35	30	2	7	1.4.7
1.5.3	Vigas de entrepiso $f_c = 21.1$ MPa						
1.5.3.1	Vaciado de concreto para vigas N1	m ³	6.36	29.1	3	8	1.4.10.2
1.5.3.2	Vaciado de concreto vigas auxiliares N1	m ³	0.70	29.1	2	2	1.4.10.2
1.5.4	Losa aligerada casetón de madera $e = 0.25$ m	m ²	100.00	1.27	3	6	1.4.10.2
1.5.5	Vaciado de concreto para vigas Cubierta	m ³	6.19	29.1	3	8	1.4.8
1.5.6	Concreto para escaleras	ml	4.40	0.68	1	1	1.4.11
1.5.7	Mesón en concreto	m ²	6.76	1.39	1	2	1.6.2.1
1.6	MAMPOSTERIA						
1.6.1	Muro en bloque H10						
1.6.1.1	Muro en bloque H10 Nivel 1	m ²	168.34	0.7	3	5	1.5.1 / 1.5.4
1.6.1.2	Muro en bloque H10 Nivel 2	m ²	178.07	0.7	3	6	1.5.5
1.6.2	Pañete rustico para muro 1:5						
1.6.2.1	Pañete rustico interior nivel 1	m ²	269.95	0.44	3	5	1.9.1.1 / 1.10.3 / 1.10.5 / 1.10.6
1.6.2.2	Pañete rustico interior nivel 2	m ²	277.91	0.44	3	6	1.9.1.2
1.6.2.3	Pañete rustico exterior	m ²	19.13	0.44	1	2	1.7.1 / 1.10.3 / 1.10.5 / 1.10.6
1.7	CUBIERTA						
1.7.1	Cubierta master 1000	m ²	120.81	0.97	3	5	1.5.5
1.8	ACABADOS						

Ítem	Actividad	UND	Cantidad	Rendimiento (h/und)	N cuadrilla	Días R	Predecesora
1.8.1	Estuco plástico						
1.8.1.1	Estuco plástico nivel 1	m ²	269.95	0.19	2	4	1.6.2.1 / 1.6.2.2 / 1.5.6
1.8.1.2	Estuco plástico nivel 2	m ²	277.91	0.19	2	4	1.6.2.1 / 1.6.2.2 / 1.5.6
1.8.1.3	Estuco plástico exterior	m ²	19.13	0.19	2	1	1.6.2.3
1.8.2	Pintura sobre estuco (2 Manos)						
1.8.2.1	Pintura sobre estuco nivel 1	m ²	269.95	0.17	2	3	1.8.1.1 / 1.5.7
1.8.2.2	Pintura sobre estuco nivel 2	m ²	277.91	0.17	2	3	1.8.1.2
1.8.2.3	Pintura sobre estuco exterior	m ²	19.13	0.17	2	1	1.8.1.3
1.8.3	Drywall 1/2"						
1.8.3.1	Drywall 1/2" nivel 1	m ²	84.84	0.6	2	4	1.8.2.1
1.8.3.2	Drywall 1/2" nivel 2	m ²	90.87	0.6	2	4	1.8.2.2 / 1.7.1
1.9	PISOS Y ENCHAPES						
1.9.1	Antepiso e = 0.05						
1.9.1.1	Antepiso e = 0.05 m nivel 1	m ²	111.00	0.23	2	2	1.6.1.1
1.9.1.2	Antepiso e = 0.05 m nivel 2	m ²	92.71	0.23	2	2	1.7.1 / 1.6.1.2
1.9.2	Piso cerámico 45x45						
1.9.2.1	Piso cerámico 45x45 nivel 1	m ²	93.08	0.49	2	3	1.9.1.1 / 1.8.2.1
1.9.2.2	Piso cerámico 45x45 nivel 2	m ²	80.05	0.49	2	3	1.9.1.2 / 1.8.2.2
1.9.3	Patio piso cerámica 35X35	m ²	26.72	1.09	2	2	1.9.1.1 / 1.9.1.2 / 1.8.2.1 / 1.8.2.2
1.9.4	Guardaescoba						
1.9.4	Guardaescoba nivel 1	ml	95.65	0.04	1	1	1.9.2.1 / 1.9.3
1.9.4	Guardaescoba nivel 2	ml	80.81	0.04	1	1	1.9.2.2 / 1.9.3

Ítem	Actividad	UND	Cantidad	Rendimiento (h/und)	N cuadrilla	Días R	Predecesora
1.9.5	Cerámica para muros y piso de baño 35X35						
1.9.5	Cerámica baños 35X35 N1	m ²	14.42	1.09	1	2	1.8.2.1
1.9.5	Cerámica para baños 35X35 N2	m ²	17.58	1.09	1	3	1.8.2.2
1.10.	CARPINTERIA						
1.10.1	Marco puerta en madera (1.0X2.0X0.8)	und	7.00	0.71	1	1	1.8.2.1 / 1.8.2.2
1.10.2	Hoja puerta 1.0X2.0	und	7.00	0.14	1	1	1.10.1
1.10.3	Puerta principal metálica (1.30x3.90)	und	1.00	4	1	1	1.6.1.1
1.10.4	Baranda vidrio y acero h = 1m	ml	9.90	2.25	1	3	1.9.2.2
1.10.5	Ventana	und	1.00	2.25	1	1	1.6.1.1
1.10.6	Portón reja metálico (2.8x2.6) m	und	1.00	2.25	1	1	1.6.1.1
							1.8.2.3 / 1.8.3.1 / 1.8.3.2 / 1.9.4.1 / 1.9.4.2 / 1.9.5.1 / 1.9.5.2 / 1.10.2 / 1.10.4
1.11	ASEO GENERAL	Glob	1	-	1	1	

4.2.1 Aplicación del Diagrama de Gantt

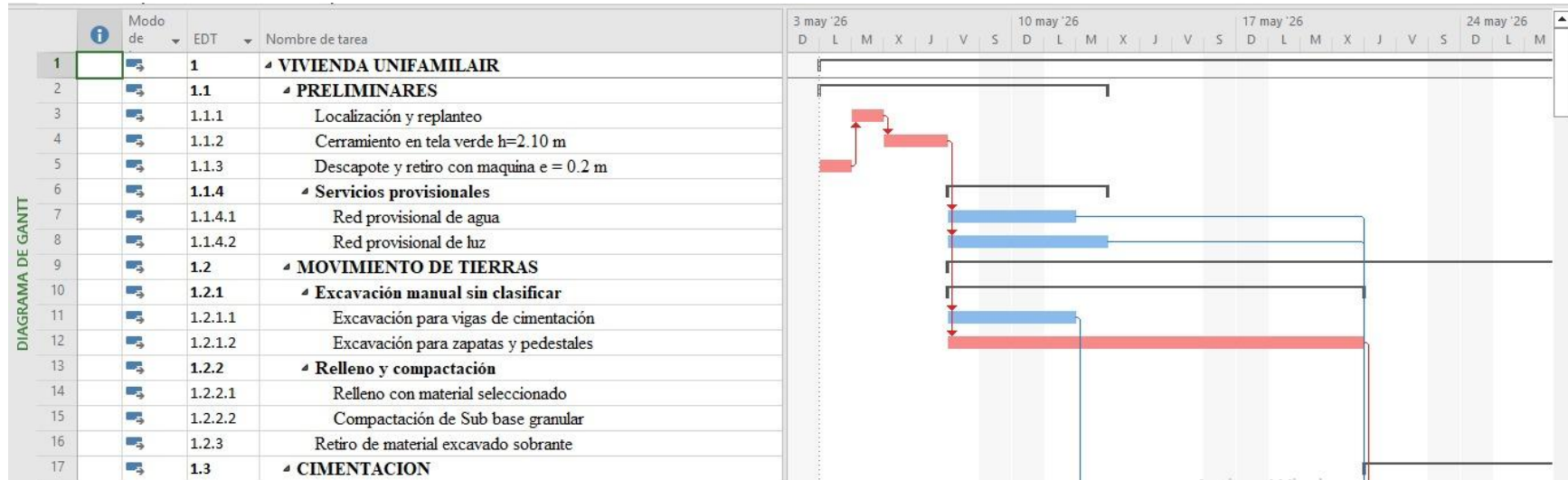
Una vez consolidadas la lista de actividades con sus duraciones y predecesoras presentadas en la tabla 6 se realizó la elaboración del Diagrama de Gantt para el proyecto de OLTA a través de la herramienta Microsoft Project. Durante este proceso se tuvo en cuenta la lógica de precedencias de las actividades, su duración y su tipo de relación de FS o SS según corresponda. Finalmente se generó el diagrama de Gantt que permitió visualizar gráficamente el proyecto compuesto en dos partes, una vertical y otra horizontal, en la parte izquierda el desglose de las actividades y a la derecha las barras horizontales donde su longitud representa la duración de cada actividad, el tiempo se trabajó en días.

El diagrama de Gantt permitió observar que la duración total del proyecto es de 112 días. Asimismo, se observa la secuencia lógica de la construcción o ejecución de las actividades de preliminares, cimentación, estructuras, mampostería, acabados, pisos y enchapes, cubiertas, carpintería, etc. Además, muestra de manera general aquellas actividades que pueden desarrollarse de manera simultánea en un determinado lapso de tiempo y permite ubicar en que etapa se encuentra el proyecto.

En la Figura 3 se representa al diagrama de Gantt dividido de la vivienda unifamiliar del proyecto de OLTA en 6 partes. Para mayor detalle del diagrama de Gantt véase el Apéndice 2.

Figura 3

Diagrama de Gantt.



Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
Resumen del proyecto		Resumen manual		División crítica	
Tarea inactiva		solo el comienzo		Progreso	
Hito inactivo		solo fin		Progreso manual	

Figura 3 (continuación).

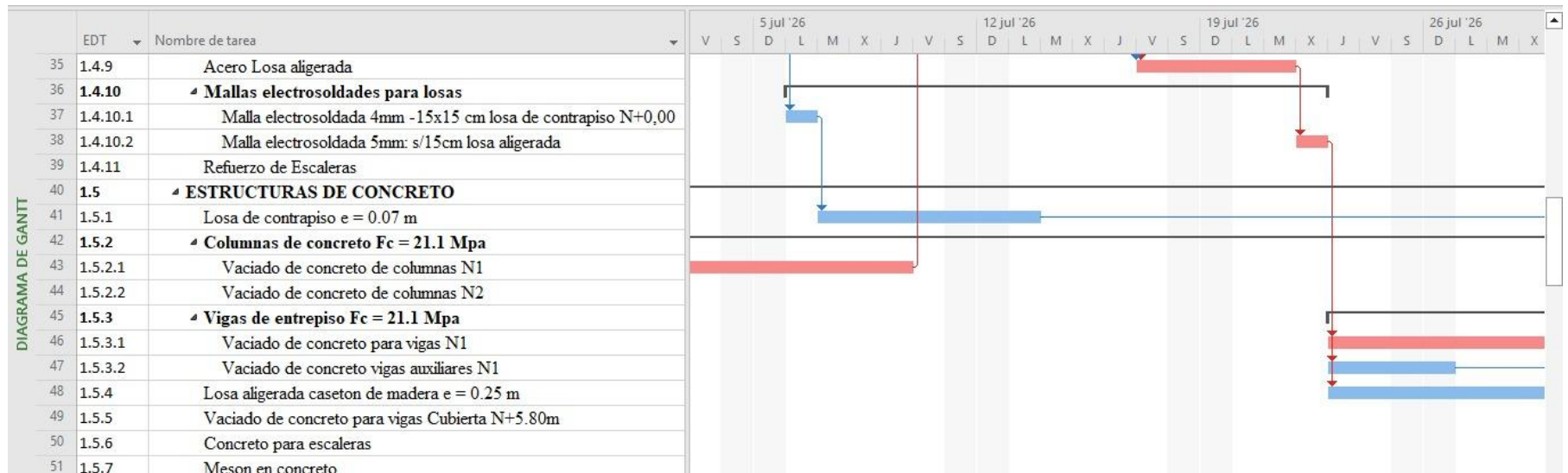


Figura 3 (continuación)

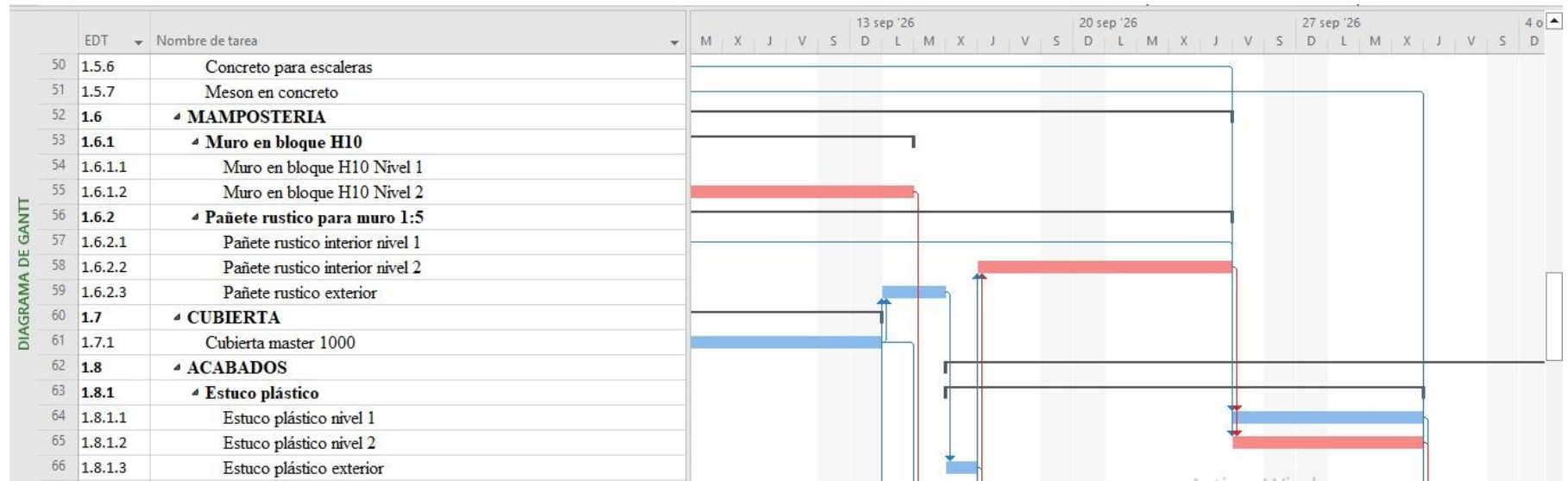


Figura 3 (continuación)

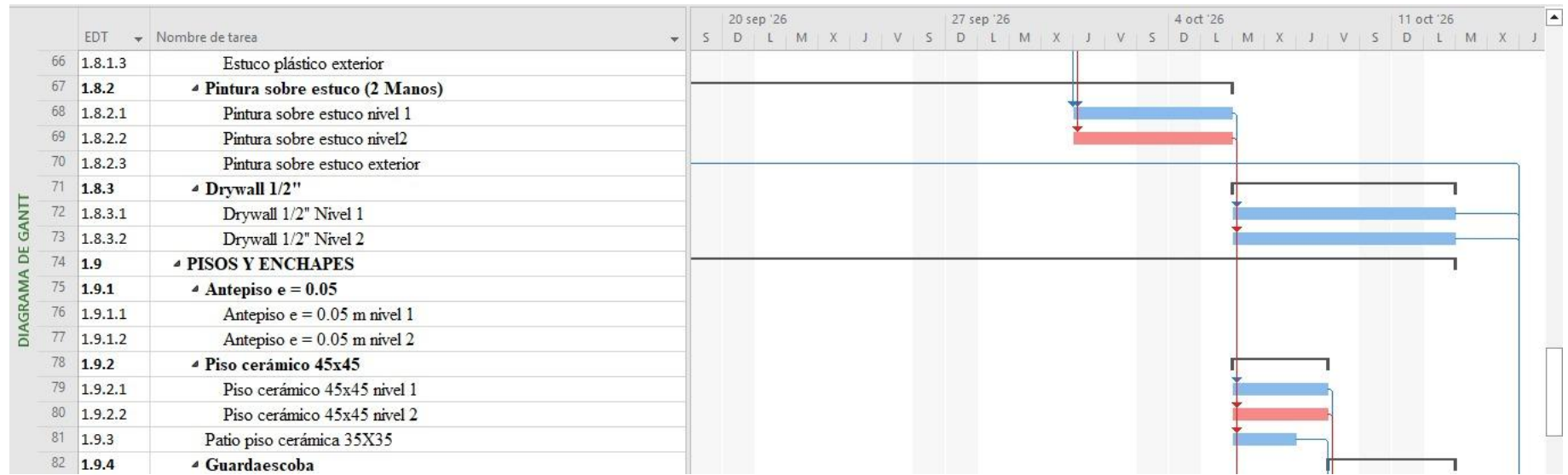
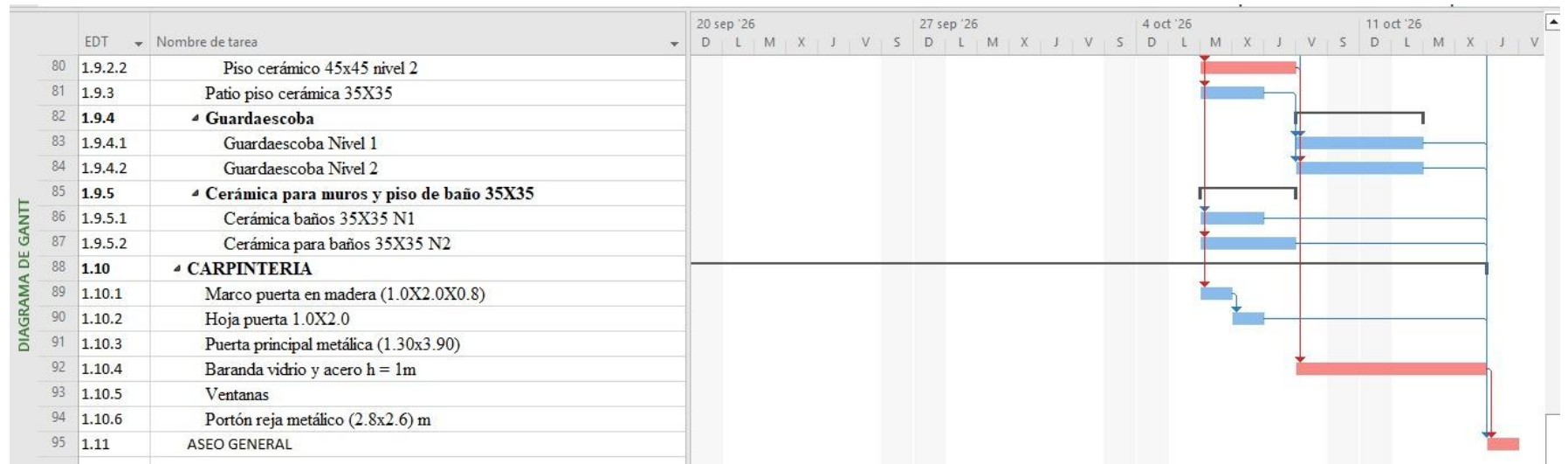


Figura 3 (continuación)



4.2.2 Aplicación de la metodología CPM/PERT

El método por CPM/PERT para el proyecto OLTA se desarrolló por medio de 6 etapas sucesivas. Esta metodología se construye con base en los fundamentos de las características probabilísticas del método PERT y el determinismo del método CPM. Para este proyecto, tal como se menciona en el capítulo 4.1.2 el factor probabilístico PERT de estimación de tres valores o tiempo esperado lo contemplan los valores de rendimientos. Por lo tanto, la duración obtenida con base en dichos rendimientos considera la incertidumbre y será el valor utilizado para continuar con CPM.

De esta manera, en este método se realiza la red lógica de las actividades y requiere de un cálculo explícito de los tiempos de cada nodo. Es decir, el resultado que se obtiene es una programación más analítica, pues proporciona fechas de inicio y fin de cada actividad, holguras y una ruta crítica determinista de la duración total del proyecto. La secuencia metodológica es la siguiente.

- Elaboración de la lista de actividades con relaciones de precedencia y duración (Tabla 6).
- Construcción del diagrama de red utilizando la representación actividad en el nodo (AON).

- Recorrido hacia adelante: Se hace una revisión y cálculo de tiempos temprano, es decir, inicio temprano (IT) y fin temprano (FT).
- Recorrido hacia atrás: Se hace una revisión y cálculo de tiempos tardíos, es decir, fin lejano (FL) e inicio lejano (IL).
- Cálculo de actividades con holguras (HT) e identificación de la ruta crítica (R.C).
- Elaboración de la tabla de duraciones y ruta crítica.

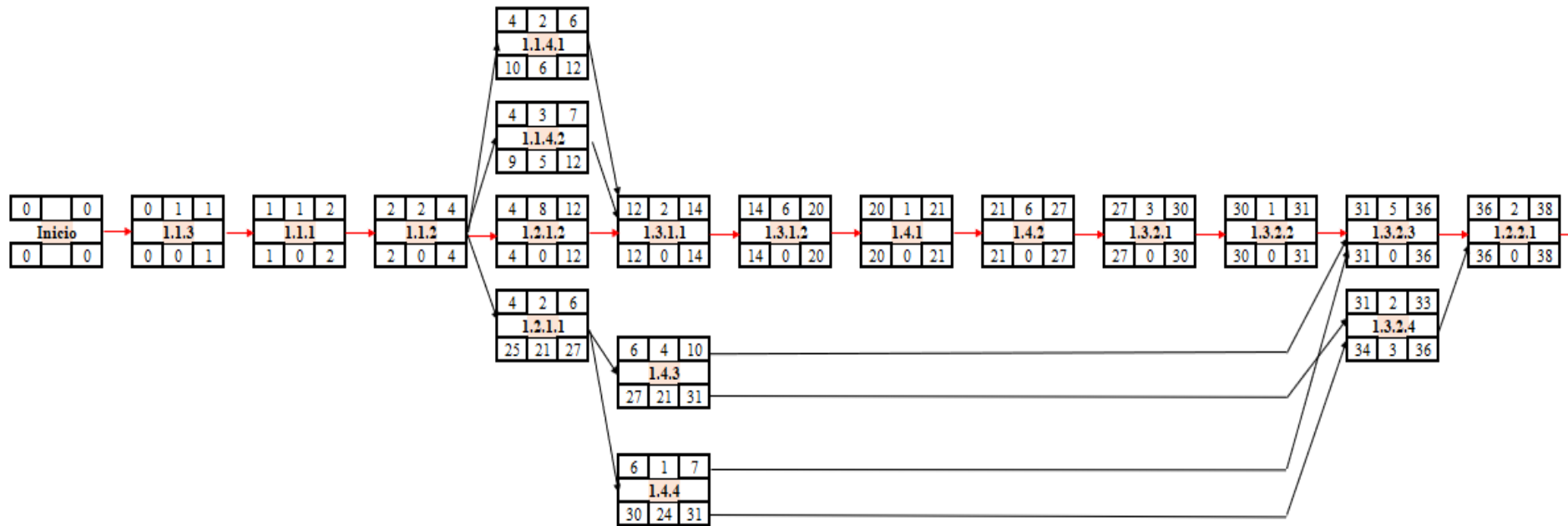
Diagrama de red actividad en el nodo (AON)

En este tipo de diagrama (AON), cada actividad se representa en un nodo y las flechas indican las relaciones de precedencia entre las actividades(nodos). El diagrama obtenido del proyecto vivienda unifamiliar de OLTA contiene 67 nodos de actividades, junto a 2 nodos que corresponden al inicio y fin de obra. El diagrama presenta una estructura típica en proyectos de edificaciones donde la etapa estructural es bastante lineal y presenta ramificaciones en la fase de mampostería y actividades posteriores.

El diagrama fue realizado en Microsoft Excel y la estructura del nodo se puede observar en la Figura 2. A continuación, se presenta una sección del diagrama de red de la vivienda unifamiliar del proyecto de edificación de OLTA. Ver Figura 4.

Figura 4

Fragmento del diagrama de red AON del proyecto de OLTA.



Nota: La ruta crítica está representada por las flechas color rojo. Para el diagrama de red (AON) completo, véase el apéndice 3.

Cálculo de tiempos: Recorrido hacia adelante, recorrido hacia atrás, holgura y ruta crítica.

Se realizan dos recorridos secuenciales en el diagrama de red, primero hacia adelante, calculando IT y FT determinando los tiempos tempranos y fin temprano en los que puede iniciar y finalizarse cada actividad. $IT = FT$ de su predecesora más tardía y $FT = IT + \text{duración}$, considerando que el FT corresponde al IT de la siguiente actividad. El recorrido hacia atrás me determina los días tardíos en que cada actividad puede iniciar y finalizar sin retrasar la fecha de terminación del proyecto. FL de la última actividad = FT de la última actividad partiendo del final del proyecto hacia el inicio, entonces $IL = FL - \text{duración}$.

La holgura se obtiene como $HT = IL - IT = FL - FT$ y representa la flexibilidad de una actividad sin afectar la duración total del proyecto. A continuación, se presenta la tabla que integra la información del método junto a las actividades, incluyendo duraciones, tiempos de inicio, fin, holguras y la identificación de la ruta crítica (R.C.) del proyecto. Ver Tabla 7.

Tabla 7*Tabla CPM/PERT*

ITEM	ACTIVIDAD	IT	FT	IL	FL	HT	R.C.
1	VIVIENDA UNIFAMILAIR	0	111	0	111	-	-
1.1.3	Descapote y retiro con maquina e = 0.2 m	0	1	0	1	0	SI
1.1.1	Localización y replanteo	1	2	1	2	0	SI
1.1.2	Cerramiento en tela verde h=2.10 m	2	4	2	4	0	SI
1.1.4.1	Red provisional de agua	4	6	10	12	6	
1.1.4.2	Red provisional de luz	4	7	9	12	5	
1.2.1.1	Excavación para vigas de cimentación	4	6	25	27	21	
1.2.1.2	Excavación para zapatas y pedestales	4	12	4	12	0	SI
1.4.3	Acero vigas de cimentación	6	10	27	31	21	
1.4.4	Acero de vigas Aux de cimentación	6	7	30	31	24	
1.3.1.1	C. de saneamiento solado e = 0.05 m	12	14	12	14	0	SI
1.3.1.2	Concreto ciclópeo	14	20	14	20	0	SI
1.4.1	Acero de Ref de zapatas	20	21	20	21	0	SI
1.4.2	Acero de Pedestales y Columnas N1	21	27	21	27	0	SI
1.3.2.1	Zapatas	27	30	27	30	0	SI
1.3.2.2	Pedestales	30	31	30	31	0	SI
1.3.2.3	Vigas de amarre de cimentación	31	36	31	36	0	SI
1.3.2.4	Vigas aux de amarre de cimentación	31	33	34	36	3	
1.2.2.1	Relleno con material seleccionado	36	38	36	38	0	SI
1.2.3	Retiro de material excavado sobrante	38	39	38	39	0	SI
1.2.2.2	Compactación de Sub base granular	39	42	77	80	38	
1.5.2.1	Vaciado de concreto de columnas N1	39	46	39	46	0	SI
1.4.10.1	M. E. 4mm -15x15 cm losa de contrapiso	42	43	80	81	38	
1.4.5	Acero Vigas de entrepiso N1+2.90 m	46	51	46	51	0	SI
1.4.6	Acero Vigas aux de entrepiso N1+2.90 m	46	47	50	51	4	
1.5.1	Losa de contrapiso e = 0.07 m	43	48	81	86	38	
1.4.9	Acero Losa aligerada	51	53	51	53	0	SI
1.4.10.2	M.E. 5mm: s/15cm losa aligerada de entrepiso	53	54	53	54	0	SI
1.5.3.1	Vaciado de concreto para vigas N1	54	62	54	62	0	SI
1.5.3.2	Vaciado de concreto vigas auxiliares N1	54	56	60	62	6	
1.5.4	Losa aligerada casetón de madera e = 0.25m	54	60	56	62	2	
1.4.7	Acero de Columnas Nivel 2	62	65	62	65	0	SI

ITEM	ACTIVIDAD	IT	FT	IL	FL	HT	R.C.
1.6.1.1	Muro en bloque H10 Nivel 1	60	65	86	91	26	
1.4.11	Acero de refuerzo de Escaleras de 1/2 "	60	62	95	97	35	
1.5.2.2	Vaciado de concreto de columnas N2	65	72	65	72	0	SI
1.9.1.1	Antepiso e = 0.05 m nivel 1	65	67	91	93	26	
1.10.3	Puerta principal metálica (1.30x3.90)	65	66	92	93	27	
1.10.5	Ventana	65	66	92	93	27	
1.10.6	Portón reja metálico (2.8x2.6) m	65	66	92	93	27	
1.5.6	Concreto para escaleras	62	63	97	98	35	
1.4.8	Acero Vigas de Cubierta +5.80 m	72	76	72	76	0	SI
1.6.2.1	Pañete rustico interior nivel 1	67	72	93	98	26	
1.5.5	Vaciado de concreto para vigas Cubierta	76	84	76	84	0	SI
1.5.7	Mesón en concreto	72	74	102	104	30	
1.6.1.2	Muro en bloque H10 Nivel 2	84	90	84	90	0	SI
1.7.1	Cubierta master 1000	84	89	85	90	1	
1.9.1.2	Antepiso e = 0.05 m nivel 2	90	92	90	92	0	SI
1.6.2.3	Pañete rustico exterior	89	91	107	109	18	
1.6.2.2	Pañete rustico interior nivel 2	92	98	92	98	0	SI
1.8.1.3	Estuco plástico exterior	91	92	109	110	18	
1.8.1.1	Estuco plástico nivel 1	98	102	100	104	2	
1.8.1.2	Estuco plástico nivel 2	98	102	98	102	0	SI
1.8.2.3	Pintura sobre estuco exterior	92	93	110	111	18	
1.8.2.1	Pintura sobre estuco nivel 1	102	105	104	107	2	
1.8.2.2	Pintura sobre estuco nivel2	102	105	102	105	0	SI
1.9.2.1	Piso cerámico 45x45 nivel 1	105	108	107	110	2	
1.9.5.1	Cerámica baños 35X35 N1	105	107	109	111	4	
1.8.3.1	Drywall 1/2" Nivel 1	105	109	107	111	2	
1.9.2.2	Piso cerámico 45x45 nivel 2	105	108	105	108	0	SI
1.9.3	Patio piso cerámica 35X35	105	107	108	110	3	
1.9.5.2	Cerámica para baños 35X35 N2	105	108	108	111	3	
1.10.1	Marco puerta en madera (1.0X2.0X0.8)	105	106	109	110	4	
1.8.3.2	Drywall 1/2" Nivel 2	105	109	107	111	2	
1.10.4	Baranda vidrio y acero h = 1m	108	111	108	111	0	SI
1.9.4.1	Guardaescoba Nivel 1	108	109	110	111	2	
1.9.4.2	Guardaescoba Nivel 2	108	109	110	111	2	
1.10.2	Hoja puerta 1.0X2.0	106	107	110	111	4	
1.11	Aseo general	111	112	111	112	0	SI

Nota: Los valores de la tabla corresponden a días.

Por medio de la tabla se logra evidenciar que el proyecto tiene una duración total de 112 días. Además, se observa que las actividades que contienen una mayor holgura corresponden a la compactación de Sub base granular (1.2.2.2), M.E. 4mm 15x15 de losa de contrapiso (1.4.10.1) y la losa de contrapiso $e = 0.07$ m (1.5.1) con una holgura de 38 días cada una.

La ruta crítica identifica las actividades que no representan holgura ($HT = 0$), lo que significa que cualquier retraso en alguna de ellas afectara directamente la duración total del proyecto. En consecuencia, para el proyecto vivienda unifamiliar de OLTA, la ruta crítica es la siguiente: **1.1.3 -> 1.1.1 -> 1.1.2 -> 1.2.1.2 -> 1.3.1.1 -> 1.3.1.2 -> 1.4.1 -> 1.4.2 -> 1.3.2.1 -> 1.3.2.2 -> 1.3.2.3 -> 1.2.2.1 -> 1.2.3 -> 1.5.2.1 -> 1.4.5 -> 1.4.9 -> 1.4.10.2 -> 1.5.3.1 -> 1.4.7 -> 1.5.2.2 -> 1.4.8 -> 1.5.5 -> 1.6.1.2 -> 1.9.1.2 -> 1.6.2.2 -> 1.8.1.2 -> 1.8.2.2 -> 1.9.2.2 -> 1.10.4 -> 1.11.**

4.2.3 Aplicación de la metodología del Last Planner System (LPS).

El sistema del Last Planner System o ultimo planificador se aplica como la tercera metodología de planificación al proyecto de edificación de OLTA. Partiendo de la misma base de la estructura de desglose de trabajo (EDT), se realizó la programación con el propósito de comparar su desempeño, flexibilidad, claridad visual y control frente a la representación por Gantt y el método CPM-PERT.

La estructura del LPS consiste en un nivel jerárquico de cuatro niveles que parten de lo estratégico hasta un nivel operativo y de aprendizaje, cada uno con un horizonte temporal

especifico y nivel de detalle diferente. Estos niveles son: Plan maestro, Lookahead, Plan semanal y PPC, que corresponde al nivel de control y aprendizaje que se desarrolla durante la ejecución directa del proyecto.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de los primeros niveles al proyecto vivienda unifamiliar de OLTA y una ligera simulación para observar el funcionamiento del PPC y CNC.

Plan Maestro

Con base en la EDT se realizó el plan maestro que representa el nivel de estrategia de la planificación total del proyecto. Se agruparon los capítulos en los hitos constructivos lógicos y siguiendo la secuencia general de las fases constructivas. Un hito se considera como una unidad de trabajo integral que establece un entregable clave de inicio o cierre de actividades en el plan maestro. Para la agrupación de los capítulos en hitos se tuvo en cuenta los siguientes criterios.

Frente de trabajo compartido: Aquí se tuvo en cuenta las actividades que se desarrollan en el mismo espacio físico y que cuentan con dependencias directas. Por ejemplo, el capítulo de preliminares y el movimiento de tierras, dichos capítulos comparten el frente de preparación del terreno por lo cual conforman el hito 1.

La dependencia directa: Este criterio corresponde a aquellas actividades con una dependencia o secuencia inseparable. Por ejemplo, las actividades de refuerzo de acero de la cimentación (partes del capítulo 1.4) con los capítulos de vaciado de la cimentación (1.3).

El sistema constructivo integral: Abarca aquellas actividades como las columnas, vigas, losas y el acero asociado a estos entregables. Conformando lo que sería la planificación como unidad del sistema estructural. Por ejemplo, la agrupación de Losa de contrapiso, Columnas N1, vigas de entrepiso, losa aligerada y todo el acero de estas actividades corresponden a un hito por nivel del proyecto.

Como resultado del plan maestro se obtiene la agrupación de los capítulos en 7 hitos presentados en un diagrama de barras similar a un Gantt simplificado, donde cada barra representa la duración de un hito. Esta fase permite visualizar el proyecto de manera general sin la presencia de las múltiples actividades de la EDT. Ver Figura 5.

Lookahead o plan intermedio.

El lookahead corresponde al segundo nivel de la planificación del último planificador. Su función principal es la preparación del trabajo que se ejecutara en las próximas 3 a 6 semanas, identificando las restricciones que impiden que cada actividad pase a una fase de ejecución, funciona como un filtro para el plan semanal. Además, se asignan los responsables para la liberación de la actividad. Para el proceso del lookahead se tuvo en cuenta lo siguiente:

- **Seleccionar la ventana temporal:** Para el proyecto vivienda unifamiliar de OLTA se consideró una ventana de 6 semanas que contempla los primeros hitos del proyecto, con el fin de poder analizar actividades capítulos claves como la cimentación y obtener una visión intermedia del proyecto.
- **Desglose de actividades por Sector/elemento:** Las actividades de la EDT se repartieron por sectores físicos o por elementos (por ejemplo, zapatas tipo 1,2,3, cantidades, orientación sur-norte (verticalidad) y oeste-este (horizontalidad) para permitir una planificación de trabajo simultaneo entre cuadrillas y actividades.
- **Identificación de restricciones:** Esta etapa corresponde a unas de las más importantes en el desarrollo del lookahead. En esta fase se estableció para cada actividad las restricciones que deben ser liberadas antes de pasar a la fase de ejecución. Las restricciones contempladas en este caso fueron del siguiente tipo: Materiales, equipo o maquinaria, permisos de ejecución, herramientas y predecesoras.

- Evaluación del estado de restricciones: Una vez establecidas las restricciones en el paso anterior se procede con clasificar el estado de la restricción, es decir, si se encuentra libre (Resuelta), en gestión (en proceso de resolución) o pendiente (sin gestión iniciada).
- Filtro al plan semanal: Por último, se evaluó que actividades se encuentran en estado Libre o resueltas en todas sus restricciones y con su actividad predecesora completada. Entonces pasan dichas actividades al plan semanal como actividades ejecutables.

A continuación, se presenta una sección del Lookahead que abarca las actividades de las primeras 6 semanas en total del proyecto. Durante este periodo de la planificación intermedia se visualizan actividades como replanteo y localización, movimientos de tierras, concreto simple, acero de refuerzo (zapatas, pedestales y vigas de cimentación) y concreto reforzado, lo que requiere una coordinación entre las cuadrillas.

La implementación del lookahead revela la necesidad de liberar las restricciones ya que son críticas para el avance de los hitos y filtros al plan semanal: Por ejemplo, los servicios provisionales para el solado o la llegada del acero de refuerzo para el armado de acero de refuerzo. Ya que la disponibilidad de material afecta las actividades 1.4.1 a 1.4.4, y esto afecta el vaciado de zapatas y pedestales. Dichas restricciones se clasificaron por tipo y se asignó un responsable de su liberación. A continuación, se observa una sección del plan intermedio o lookahead. Ver Figura 6.

Figura 6

Sección de la estructura Lookahead

LOOKAHEAD												
PROYECTO DE EDIFICACION DE OLTA: VIVIENDA UNIFAMILIAR												
ACTIVIDAD	SECTOR	UND	CANT	DUR	PREDECESOR A	TIPO RESTRICCON	RESTRICCIONES	RESPONSABLE DE RESTRICCION	RESPONSABLE DE EJECUCION	ESTADO	S1	S2
Descapote y retiro con maquina	Todo el predio	m2	133	1	Inicio	Maquinaria	Maquinaria disponible	Director	Contratista maquinaria	LIBRE	X	
Localizacion y replanteo	Todo el predio	m2	133	1	1.3.3	Información	Planos aprobados y equipo disponible	Residente	Topografo	LIBRE	X	
Cerramiento en tela verde	Perimetro	ml	56	2	1.1.1	Materiales	Tela verde y postes disponibles	Maestro de obra	Cuadrilla de cerramiento	LIBRE	X	
Red provisional de agua	Punto de conexión	und	1	2	1.1.2	Permisos/ tramites	Permiso por parte de la empresa del servicio (ESPO)	Director	Contratista servicios	PENDIENTE		X
Red provisional de luz	Punto de conexión	und	1	3	1.1.2	Permisos/ tramites	Permiso por parte de la empresa del servicio (CENS)	Director	Contratista servicios	PENDIENTE		X
Excavacion de vigas de cimentacion	Todos ejes	m3	4.550	2	1.1.2	Información / equipo	Ejes marcados, herramienta menor disponible	Residente	Cuadrilla de excavacion	PENDIENTE		X

Nota: En el apéndice 4 se presenta el lookahead completo con las restricciones por actividad, tipo de restricción, responsable de su liberación, estado de restricción, etc.

Plan semanal de trabajo

En esta fase del LPS que representa en si el nivel prácticamente operativo cada ultimo planificador (maestro de obra, contratista, jefe de cuadrilla) asume compromisos específicos de trabajo para los días de la semana. Desarrollando únicamente actividades que pasaron el filtro que representa el lookahead, es decir, actividades con restricciones liberadas y con sus predecesoras terminadas.

El plan semanal elaborado para el proyecto de la vivienda unifamiliar de proyecto de OLTA permitió heredar la sectorización por elementos del lookahead y de la filosofía lean que permitieron flexibilizar la programación rígida que representa la EDT aun considerando las dependencias técnicas entre actividades. A través de secuencias lógicas de actividades que se ejecutan de manera continua, pasando de un sector al siguiente como un tren en producción.

Es importante destacar que se realiza un solo lookahead y un solo plan semanal debido a la filosofía LEAN, ya que planificar toda la obra seria contrario a ella, puesto que estaríamos asumiendo una obra sin incertidumbre, ni restricciones, que encuentra todo libre para trabajar, realizando una programación tradicional. Por lo tanto, solo se realiza uno para la ventana de las primeras 6 semanas, y se simulan situaciones para presentar dos planes semanales más, para que se observe la facilidad de adaptación ante cambios en obra. No se simula toda porque confunde al lector, creer que puede hacerse, lo cual es irreal.

En el plan semanal la división por elementos o sectorización en porciones más pequeñas permite un control más organizado. Es decir, la sectorización no viola las dependencias lógicas entre actividades, no puedo vaciar concreto en un sector sin tener el acero armado. Pero si permite que una cuadrilla arme acero en el sector norte, mientras otra vacía concreto en el sector Sur (considerando que ya fue armado el acero). En la Tabla 8, se observa el plan semanal de la semana de la semana 1 (S1).

Tabla 8*Plan semanal S1*

PROYECTO DE EDIFICACION DE OLTA: VIVIENDA UNIFAMILIAR											
HITO 1 - SEMANA 1											
ITEM	ACTIVIDAD	SECTOR	CUADRILLA	L	M	X	J	V	META	¿CUMPLIO?	CNC
1	1.1.3	Descapote y retiro con maquina	Todo el predio	Contratista maquinaria	X				Descapote todo el terreno, incluido retiro	SI	
2	1.1.1	Localización y replanteo	Todo el predio	Topógrafo		X			Replanteo, ejes y niveles 100%	SI	
3	1.1.2	Cerramiento en tela verde	Perímetro	Cuadrilla de cerramiento			X	X	Instalación completa 56ml	SI	
4	1.2.1.2	Excavación de zapata y pedestales	Zapatas tipo 1, 2 y 4	Cuadrilla de excavación				X	Iniciar excavación	SI	
PPC									Comprometidas:	Cumplido	PPC
									4	4	100 %

Nota: Para efectos ilustrativos, se simula la revisión de seguimiento y revisión de la S1, asumiendo el cumplimiento total de los

compromisos adquiridos para calcular el PPC. En este caso del 100%.

Porcentaje de plan cumplido (PPC)

El porcentaje del plan cumplido (PPC) funciona como un indicador de la metodología del Last Planner System para medir la confiabilidad de la planificación. Este proceso se desarrolla ya en la fase de ejecución de la obra. El PPC (%) se calcula como el número de actividades cumplidas sobre número de actividades comprometidas. Es una fase de aprendizaje muy importante que agrega el LPS a la planificación pues cada vez que una actividad comprometida en el plan semanal no se cumple, se registra la causa de no cumplimiento (CNC). Algunas de las categorías más comunes de CNC se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Tabla de CNC más comunes.

Ítem	Categoría (CNC)	Descripción	Posibles Acciones correctivas
1	Material	Falta o retraso de materiales en sitio	Programación de pedidos con más tiempo de anticipación
2	Mano de obra	Falta o rotación de personal	Contratos de permanencia e incentivos
3	Equipo	Equipos no disponibles o averiados	Mantenimientos preventivos y respaldos
4	Subcontratistas	Incumplimiento de subcontratistas	Reuniones semanales y penalidades
5	Diseño	Cambios o rediseños	Verificación del diseño antes de cada hito
6	Clima	Condiciones climáticas adversas	Planes de contingencia bajo techo
7	Otros	Permisos, accesos, etc.	Gestión anticipada

A continuación, se presenta una simulación del plan semanal de la S2, donde hubo CNC.

Ver Tabla 10.

Tabla 10

Simulación plan semanal S2 con CNC.

HITO 1 - HITO 2 - SEMANA 2												
N	ITEM	ACTIVIDAD	SECTOR	CUADRILLA A	L	M	X	J	V	META	¿CUMPLIO?	CNC
1	1.1.4.1	Red provisional de agua	Punto de conexión	Contratista servicios	X	X				Conexión disponible	NO	No se tramito el permiso a tiempo.
2	1.1.4.2	Red prov. de luz	Punto de conexión	Contratista servicios	X	X	X			Conexión disponible	SI	
3	1.2.1.1	Excavación de vigas de cimentación	Todos ejes	Cuadrilla de excavación				X	X	Todas terminadas	SI	
4	1.2.1.2	Excavación de zapata y pedestales	Zapatas tipo 1, 2 y 4	Cuadrilla de excavación	X	X	X			Todas terminadas	SI	
5	1.2.1.2	Excavación de zapata y pedestales	Zapatas tipo 3	Cuadrilla de excavación				X	X	Iniciar excavación	SI	
6	1.3.1.1	Solado	Zapatas tipo 1, 2 y 4	Cuadrilla concreto simple				X		Iniciar excavación	NO	No se completó los servicios por ende falta de material (agua).
PPC										Comprometidas: 6	Cumplido 4	PPC 67%

Nota: El PPC de la S2 fue del 67% debido a CNC en los ítems 1.1.4.1 y 1.3.1.1

Luego de la simulación realizada y calculado el PPC y verificadas las CNC las actividades o compromisos no cumplidos durante la semana, se reprograman para la semana siguiente. Sin embargo, si se presenta un patrón repetitivo en el análisis del PPC y las CNC semana tras semana, entonces se debe de realizar una corrección en el plan intermedio.

En este caso hipotético de la simulación de la S2 el PPC semanal fue de 67 %, y las causas de no cumplimiento fueron falta de permisos, actividades no terminadas y falta de material. Por lo cual se reprogramo el compromiso de la actividad para la semana siguiente (S3). Ver tabla 11.

Tabla 11*Simulación del plan semanal de la S3.*

HITO 1 - HITO 2 - SEMANA 3													
N	ITEM	ACTIVIDAD	SECTOR	CUADRILLA	L	M	X	J	V	META	¿CUMPLIO?	CNC	
1	1.1.4.1	Red provisional de agua	Punto de conexión	Contratista servicios	X	X				Conexión disponible	SI		
2	1.3.1.1	Solado	Todas zapatas	Cuadrilla concreto simple				X	X	Todos solados terminados	SI		
3	1.2.1.2	Excavación de zapata y pedestales	Zapatas tipo 3	Cuadrilla de excavación	X	X				Todas terminadas	SI		
4	1.4.2	Acero pedestales y columnas N1	Mitad	Cuadrilla de aceros				X	X	X	Todos castillos listos	SI	
5	1.4.2	Acero pedestales y columnas N1	Mitad	Cuadrilla de aceros				X	X	X	Todos castillos listos	SI	
PPC: 100%										Comprometidas: 5	Cumplido: 5		

4.3. Comparar las metodologías CPM-PERT, GANTT y LPS, mediante la realización de una matriz comparativa con enfoque en su claridad, precisión y gestión, identificando diferencias en la planificación de proyectos.

Con el fin de establecer una comparación estructurada entre el diagrama de Gantt, CPM/PERT y LPS, se diseñó una matriz de comparación que organiza diferentes aspectos de cada metodología según su aplicación en proyectos de construcción. A partir de los planes de trabajo obtenidos y la investigación, se revisaron elementos que permitieran identificar diferencias tanto en la precisión de la planificación como la claridad y la gestión con la que el plan es comprendido y comunicado entre los actores del sector de la construcción.

Los criterios de evaluación para la matriz se determinaron con base en la gestión de proyectos y aspectos claves como la capacidad de representar dependencias entre actividades, incorporaciones de márgenes u holguras, participación de trabajo colaborativo, adaptabilidad a cambios, facilidad de seguimiento y control, visualización de duraciones, facilidad de comprensión del personal operativo, entre otras. Para la valoración de cada criterio se estableció una escala de 1 a 3, donde 1 equivale a bajo, 2 a medio y 3 a alto.

Los resultados obtenidos mediante el análisis técnico directo de los planes de trabajo permitieron identificar diferencias significativas entre las formas y el fundamento técnico de cada planificación analizada. Con base en los hallazgos, se elaboró la Tabla 12 y Tabla 13, que contrasta directamente las tres metodologías de planificación estudiadas y permite visualizar de

manera estructurada tanto las ventajas como limitaciones que cada metodología presenta frente a las otras dos.

Tabla 12

Matriz de comparación de los métodos de planificación.

PARAMETRO	DIAGRAMA DE GANTT	CPM/PERT	LAST PLANNER SYSTEM
FUNDAMENTO TECNICO			
Filosofía base	Tradicional	Tradicional	Lean construction
Planificación	Estática, elaborada al inicio	Estática, elaborada al inicio	Dinámica, actualización continua y multinivel.
Herramienta principal	Diagrama de barras tiempo/actividad	Redes AON-AOA	Plan maestro + Lookahead + Plan semanal + PPC
Gestión de dependencias	Relaciones de dependencia por actividad	Predecesoras y Red AON que determina la RC	Por restricciones y prerequisites
CLARIDAD			
Facilidad de comprensión del plan general	Alta: Barras universalmente legibles	Media: La red AON no es intuitiva sin formación.	Media: El sistema completo requiere capacitación.
Visualización de actividades y duraciones	Alta-Baras intuitivas, duración visible.	Alta-Red AON, pero requiere interpretación	Media-A corto plazo
Identificación de secuencia lógica	Media: vínculos simples, confuso a gran escala.	Alta-Red AON muestra toda la lógica de secuencia.	Alta-Por niveles de planificación adecuados
Claridad en asignación de responsabilidades	Baja: No hay espacio para responsables	Baja: No contempla asignación de personas	Alta-Se Adquieren compromisos
Comprensión por personal operativo	Alta: Lectura fácil por un maestro de obra.	Baja: Dificil lectura para personal de obra	Alta-Plan semanal simple y concreto
PRECISIÓN			
Exactitud en estimación de duración	Media-determinista y simple	Alto con RC, Inicios, Fin y HL	Alta-Planes semanales y ajustes por rendimiento
Identificación de ruta crítica y prioridades	Baja: No calcula, requiere análisis adicional	Alta: Es su función central	Media-indirecta por medio de restricciones e hitos.

PARAMETRO	DIAGRAMA DE GANTT	CPM/PERT	LAST PLANNER SYSTEM
Capacidad de calcular holguras	Bajo: Estimación visual, sin calculo formal.	Alto: Holgura total por actividad	Medio: El lookahead permite inferirlas.
Nivel de detalle	Medio: Actividades y duraciones sin restricciones	Alto: Flechas, HI y RC	Alto: Muy detallado a corto plazo
GESTIÓN			
Manejo y capacidad de gestionar incertidumbre	Baja: Plan fijo, imprevistos rehacen todo.	Media: No variabilidad operativa más que la HL	Alta: Enfocada en la variabilidad de la construcción
Análisis y cumplimiento de compromisos	Baja- N/A	Media: compara avances, pero no causas.	Alta: PPC y CNC semanal
Trabajo colaborativo	Baja-Generada por el planificador	Baja-Generada por el planificador	Alta: Todo el personal es protagonista
Actualizaciones y aprendizaje	Baja-Requiere reeditar el plan total del proyecto	Media-Recalcular duraciones y cuenta con holguras.	Alta-ciclo semanal de participación y aprendizaje Alta-Lookahead sistemático de restricciones, responsables y liberación de restricciones
Gestión y control de restricciones	Baja- solo predecesoras	Baja-Solo predecesoras	
Control y confiabilidad de la planificación	Baja-seguimiento visual.	Media- comparación de fechas índice de confiabilidad	Alta-Por medio del PPC de confiabilidad

Tabla 13

Valoración de la Matriz comparativa de claridad, precisión y gestión.

PARAMETRO	DIAGRAMA DE GANTT	CPM/PERT	LPS
CLARIDAD			
Facilidad de comprensión del plan general	3	2	2
Visualización de actividades y duraciones	3	3	2
Identificación de secuencia lógica	2	3	3
Claridad en asignación de responsabilidades	1	1	3
Comprensión por personal operativo	3	1	3
PRECISIÓN			
Exactitud en estimación de duración	2	3	3
Identificación de ruta crítica y prioridades	1	3	2
Capacidad de calcular holguras	1	3	2
Nivel de detalle	2	3	3
GESTIÓN			
Manejo y capacidad de gestionar incertidumbre	1	2	3
Análisis de cumplimiento de compromisos	1	2	3
Trabajo colaborativo	1	1	3
Actualizaciones y aprendizaje	1	2	3
Gestión y control de restricciones	1	1	3
Control y confiabilidad de la planificación	1	2	3
Subtotal claridad / 15	12	10	13
Subtotal precisión / 12	6	12	10
Subtotal gestión /18	6	10	18
Total / 45	24	32	41

Nota: Los valores numéricos consignados en la presente tabla se encuentran condicionados por la clasificación de los criterios (bajo, medio y alto) definidos en la tabla 12.

5. Conclusiones

Se logro caracterizar satisfactoriamente el proyecto de edificación de OLTA ubicado en el municipio de Ocaña, mediante la recopilación y análisis de la información técnica disponible obteniendo los insumos necesarios que conformaron la base de datos para estructurar y aplicar las metodologías de planificación evaluadas, garantizando que los planes elaborados responden a las condiciones reales del proyecto y no a supuestos genéricos. La organización de esta información resulto determinante para la comparación de los resultados obtenidos. Este proceso evidencio además que, antes del inicio de cualquier proyecto de construcción, es importante realizar una evaluación previa de sus características particulares, considerando factores como su escala, complejidad, frente de trabajo y actores involucrados, con el fin de seleccionar la metodología de planificación más adecuada, evitando que dicha decisión corresponda únicamente a la costumbre del equipo planificador.

Durante la aplicación de Gantt, CPM/PERT y Last Planner System se evidencio que cada metodología tiene una naturaleza aplicativa con un enfoque distinto. El desarrollo del proceso estructurado siguiendo la secuenciación lógica de actividades junto al cálculo de las duraciones se transformó en la etapa más importante previa a la aplicación de los métodos. Ya que esto, permitió elaborar los cronogramas o planes de trabajo de cada metodología. Con base en esta información se obtuvo la red AON del CPM/PERT obteniendo el cálculo de la ruta critica y holguras para cada actividad, el diagrama de gantt por su parte represento visualmente la línea temporal del proyecto y finalmente el LPS se distinguió como la única metodología que incorpora un mecanismo sistemático de gestión activa de restricciones, compromisos del

ejecutor y mejora continua con base en el análisis de causas de no cumplimiento y el seguimiento del PPC generando así el plan maestro, lookahead o plan intermedio y plan semanal.

En esta etapa la tabla de duraciones y jerarquía obtenida a través del método cpm/pert se tomó como soporte técnico para generar el plan maestro del sistema del Last Planner System, el cual funciona como una estrategia adecuada para proyectos de edificación, aprovechando las fortalezas de cada metodología en el nivel donde mejor se desempeñan. Esta integración no significa una contradicción metodológica, sino una articulación que atiende la tensión filosófica entre el enfoque determinista de CPM y los principios Lean del LPS, reconociendo que cada herramienta opera en un nivel distinto. En este caso el CPM es la base con la que se modela la secuencia lógica de los hitos principales del plan maestro, mientras que el LPS, a través del Lookahead y el plan semanal, gestiona las restricciones y compromisos a corto plazo.

Luego de la revisión por medio de la matriz de comparación se evidencio que entre las diferencias más significativas entre las metodologías tradicionales y el Last Planner System radica en la vigencia de la planificación a lo largo del proyecto. En métodos como Gantt o CPM/PERT, el esfuerzo de la planificación se concentra en la fase previa correspondiente al inicio de la obra, generando un cronograma bajo el supuesto de que los recursos estarán disponibles cuando se necesiten y que las únicas restricciones son las dependencias entre actividades. Este plan, construido desde condiciones ideales en oficina, suele perder validez progresivamente a medida que la realidad de la ejecución impone restricciones que nunca fueron anticipadas. El LPS, por su parte entiende la planificación como un proceso continuo que se actualiza durante toda la ejecución del proyecto, incorporando el aprendizaje semanal y

respondiendo a la variabilidad inherente de la construcción. Esta diferencia se refleja también en el desempeño de cada metodología según sus fortalezas particulares obtenidas por la matriz. En este caso el LPS domina claramente la categoría de gestión con un puntaje de 18 de puntos, que es precisamente donde las metodologías tradicionales tienen muy baja respuesta. El CPM/PERT por su parte es bastante influyente en la precisión obteniendo un puntaje de 12 puntos debido a su cálculo matemático de ruta crítica y holguras, pero menos compatible para un funcionamiento colaborativo con el personal operativo comparado a el LPS y por último el diagrama de Gantt presenta una muy buena valoración en su claridad visual (12/15 puntos) pero muy poca profundidad técnica de su planificación, precisión y gestión. Mientras las metodologías tradicionales producen un plan, el LPS sostiene un sistema de planificación vivo que no termina cuando inicia la obra, sino cuando concluye.

6. Recomendaciones

Para futuras investigaciones, se recomienda la aplicación de la metodología del Last Planner System durante la fase operativa de ejecución de obra, con el fin de analizar el flujo real de trabajo y evaluar cómo se adapta la planificación ante imprevistos y reformulaciones del plan semanal.

Se sugiere realizar capacitaciones al personal operativo del sector de la construcción, para la incorporación de last planner system, de tal forma que todo el equipo de la obra comprenda y adopte la dinámica de compromisos y trabajo colaborativo. Ya que, el conocimiento sobre LPS en el sector es aún limitado frente al uso continuo de Gantt o cpm-pert, pese a las ventajas operativas que ofrece last planner system en el manejo de los proyectos de construcción.

Se recomienda la realización de investigaciones y estudios actualizados sobre rendimientos de obra en la región de Ocaña, debido a que la información disponible es escasa y antigua. Ya que la dependencia de datos de rendimientos introduce incertidumbre en la estimación de duraciones, afectando directamente la aplicación de cualquier metodología de planificación.

7. Referencias

Aranguren León, D., Quiroga Munar, O., Solano Patiño, E., & Ortiz-Grimaldo, C. (2018).

Evaluación de la aplicación de la metodología Last Planner en proyectos de interés prioritario utilizando herramientas informáticas. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio U. Católica.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/1a568e68-f755-4c5a-b662-024b126bf270>

Arboleda, S. A. (2014). *Análisis de productividad, rendimientos y consumo de mano de obra en procesos constructivos, elemento fundamental en la fase de planeación.* Tesis.

Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51745>

Asana Team. (2025). *El diagrama de PERT: qué es y cómo crearlo.* Asana

<https://asana.com/es/resources/pert-chart>

Beltrán Sánchez, J. A., Salas Ortiz, M., & Vega Vargas, J. (2020). *Constructo de liderazgo en gerencia de proyectos.* Revista IDGIP, 1(3).

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/server/api/core/bitstreams/442f58e9-a6a3-4540-b8cb-4fd249003f27/content>

Carvajal, H., et al. (2022). *Construcción: temas y reflexiones*. Sección de publicaciones, Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín.

<https://arquitectura.medellin.unal.edu.co/images/2023-CE-Publicaciones/01-TyR/01-TyR-PDF/03-TyR-Construccion.pdf>

Díaz, L. Oliveira, M. de, Pucharelli, P & Pinzon, J. (2019). *Integración entre el sistema Last Planner System y el sistema de gestión de calidad aplicado en la industria de la construcción civil*. Revista ingeniería de construcción, 34(2), 146-158.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200146>

Díaz-Bateca, D.C. y Rolón-Cárdenas, O. P. “El Lean Construcción como estrategia de mejora continua en empresas dedicadas a la construcción de infraestructura vial en la ciudad de Cúcuta” Revista de Ingenierías Interfaces, vol. 3, no. 1, pp.1-19, 2020.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8661416.pdf>

Equipo editorial, Etecé (19 de octubre de 2025). *Cronograma*. Enciclopedia Concepto.

Recuperado el 24 de noviembre de 2025 de

<https://concepto.de/cronograma/>.

Fustamante, M. (2014). *Implementación del sistema integrado BIM-LEAN-GREEN (BLG) en la fase de diseño de proyectos de construcción*. Universidad nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/654>

Guevara, M. L. (2022). *Análisis de métodos de programación de obra: Gantt, PERT-CPM y Línea de Balance*. Polo del conocimiento.

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4541>

Herrera Valencia, R. F., y Reyes Pereira, C. (2017). *Los pros y contras al implementar el sistema Last Planner en un proyecto de edificación: un caso de estudio - Pros and Cons in Implementing the Last Planner System in a Building Project: a Case Study*. *Ingenium*, 18(35), 91–104.

<https://doi.org/10.21500/01247492.3217>

Hoyos, M. Botero, L. (2018). *Evolución e impacto mundial del Last Planner System: una revisión de la literatura*. *Ingeniería y desarrollo*, 36(1), 187-214.

<https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10946>

Hoyos Restrepo, Maria Fernanda, & Botero Botero, Luis Fernando. (2021). *Implementation of the last planner system in colombian construction sector: A case study*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 29(4), 601-621.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000400601>

INFOSET. (2018). *Gestión de proyectos (PMP-PMBOK)*.

[https://infoset.org.pe/curso_gestion_de_proyectos_\(pmp-pmbok\)](https://infoset.org.pe/curso_gestion_de_proyectos_(pmp-pmbok))

León Guevara, M., & Vásquez Quiroz, P. (2022). *Análisis de métodos de programación de obra. Caso: Biblioteca de la Universidad del Azuay*. Polo del Conocimiento, 7(8), 2828-2912.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4541>

Mattos, A.D., y Valderrama, F. (2014). *Métodos de planificación y control de obras: del diagrama de barras al BIM*. Editorial Reverté.
<https://www.rib-software.es/pdf/Usar-Presto/Libro-Metodos-de-planificacion-y-control-de-obras.pdf>

Miranda Mejia, M., Torobisco Vilca, E., & Gomez Minaya, R. (2020). *Evaluación de la eficacia de la aplicación de Last Planner System en un proyecto de construcción en la etapa de acabados-Arquitectura en Perú en el año de 2019*. Investigación & desarrollo, 20(1), 193-213. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3074>

Mora-Chavarría, I., Gutiérrez-Loria, M., & Quirós-Campos, J. (2021). *Planificación de operaciones de construcción*. Revista Tecnología En Marcha, 34(4), Pág. 175–191.
<https://doi.org/10.18845/tm.v34i4.5155>

Morán y Montenegro, A. M., Dávila Gonzáles, J.A., & Trujillo González, J. (2024). *Optimización de operaciones en un distribuidor mediante PERT/CPM*. Tecnociencia.
<https://portal.amelica.org/ameli/journal/224/2244880008/>

Pinargote Choez, J., Conforme Cedeño, G., Pincay Pilay, M., Romero Castro, R., Romero

Castro, V. (2020). *La gestión de proyectos desde la formación de equipos, gestión de cambios y la planificación mediante los diagramas de Gantt*. Área de Innovación y Desarrollo, S. L.

<https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2020.61>

Pons, J., & Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa metodología de last planner system*. Consejo general de la arquitectura técnica de España.

<https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/1064>

Pons, J. Rubio, I. (2021). *Lean construction. Las 10 claves del éxito para su implantación*.

Consejo general de la arquitectura técnica de España, CGATE.

<https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/3123>

Project Management Institute. (2021). *A guide to the Project management*

<https://www.pmi.org/about/what-is-project-management>

Quintero, A. Plata, S. (2017). *Estudio de rendimientos de mano de obra en viviendas de interés social para la creación de una base de datos real del municipio de Ocaña Norte de*

Santander. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña].

Repositorio Institucional UFPSO.

<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/688>

Rojas López, M. D. (2017). *Gerencia de la construcción-2da edición: Guía para profesionales*.

Ecoe Ediciones.

https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=RiaGEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=miguel+david+rojas+l%C3%B3pez+gerencia&ots=ZjXPn_F2rV&sig=xf4lShgA_DEscZodkst3m82ES98

Torres González, R. (2023). *Análisis comparativo de metodologías de planificación,*

seguimiento y control del proyecto Rehabilitación y mantenimiento de la vía

Filandia – La India. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de San

Buenaventura Medellín, Extensión Armenia.

<https://hdl.handle.net/10819/13302>

UNIR. (2024). *Metodologías para la gestión de proyectos*. Universidad Internacional de la Rioja.

<https://colombia.unir.net/actualidad-unir/metodologias-gestion-proyectos/>

Valencia Ramírez, K. E. (2025). *Aplicación del modelo PERT-CPM a la gestión de proyectos*.

[https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/5110940c-2ae2-4ec1-9fe8-](https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/5110940c-2ae2-4ec1-9fe8-af1f2f247fc5/content)

[af1f2f247fc5/content](https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/5110940c-2ae2-4ec1-9fe8-af1f2f247fc5/content)

Velandia, J.A. (2022). *Estudio de rendimientos y consumos de la mano de obra en actividades de*

cimentación en la construcción de vivienda unifamiliar en el municipio de Tame,

departamento de Arauca. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82694>

R. Villamizar-Toloza, J. D. Peñaranda-Pabón *“Influencia de la metodología*

PERT/CPM en los proyectos de contratación estatal en el Norte de Santander”

Revista de Ingenierías Interfaces, vol. 3, no. 1, pp. 69-85, 2020.

<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/interfaces/article/view/8256/7364>

8. Apéndices

8.1. Apéndice 1. Memorias de cantidades.

https://drive.google.com/drive/folders/1R5JqcjgRSF5LCIgIO1dCVpGuCNbpII67?usp=drive_link

8.2. Apéndice 2. Diagrama de Gantt

8.3. Apéndice 3. Diagrama de red AON

8.4. Apéndice 4. Last Planner System (Plan maestro/Lookahead/PS)