



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**SEGUIMIENTO DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA
MEDIANTE EL USO DE INDICADORES DE CONTROL EN ACTIVIDADES CLAVES.**

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Presentado por:

Arq. Susana Sepúlveda Arteaga

Directora:

Ing. Grace Milagros Rojas Geraldino

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Agosto de 2024

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado es el fruto de un esfuerzo conjunto y constante, en el que deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que lo hicieron posible.

A mi esposo, por su amor incondicional, su comprensión y su inquebrantable apoyo en cada etapa de mi formación académica. Tú fe en mí ha sido una fuente inagotable de motivación, guiándome hacia el logro de esta meta. A mi familia por estar a mi lado, su presencia ha sido un pilar fundamental en este camino. A mis amigos, les agradezco por su compañerismo cada risa compartida y cada experiencia vivida juntos. Sin duda, han enriquecido mi vida tanto académica y personal, aportando alegría y equilibrio en los momentos más desafiantes.

Mi sincero reconocimiento y agradecimiento a mi directora de Tesis MsC. Grace Milagros Rojas Geraldino por su invaluable guía, paciencia y dedicación. Su conocimiento, sus consejos y su apoyo constante fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco a la Pontificia Universidad Javeriana Cali, por brindarme las herramientas y el espacio necesario para llevar a cabo esta investigación. A todos los profesores, colegas y personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación y al desarrollo de este trabajo, les extiendo mi más profundo agradecimiento. Cada uno de ustedes ha dejado huella en mi camino, y por ello estaré eternamente agradecida.

Finalmente me permito reconocer el esfuerzo propio que ha sido necesario para alcanzar este logro. Este trabajo representa horas de estudio, dedicación y perseverancia, que me ha permitido superar los desafíos que se presentaron a lo largo del camino. Estoy orgullosa del crecimiento personal y profesional que he experimentado durante este proceso, y confío en que los aprendizajes adquiridos serán una base sólida para mi futuro.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Definición del problema	11
1.2. Justificación	13
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Organización del documento	15
2. MARCO DE REFERENCIA	17
2.1. Estado del arte	17
2.2. Marco teórico	18
2.2.1. Marco teórico gestión de proyectos	18
2.2.2. Marco teórico gestión de costo y tiempo	19
2.2.3. Marco teórico metodologías gestión de proyectos	20
2.2.4. Marco teórico sobre técnicas metodológicas	22
2.2.5. Project Management Body of Knowledge (PMBOK)	25
2.2.6. Norma internacional ISO 21500	25
2.2.7. Indicadores de control	26
2.2.8. Indicadores clave del valor ganado	29
3. METODOLOGÍA	33
3.1. Selección de proyectos de vivienda y determinación de actividades clave	33
3.2. Selección de indicadores de control y sus parámetros de aceptación	49
3.3. Definición de actividades clave	54
3.4. Cálculo de variables para proyectos seleccionados	56

4.	METODOLOGÍA PROPUESTA	58
4.1.	Gestión de adquisiciones.....	61
4.2.	Gestión del cronograma	68
4.3.	Gestión de costos	71
4.4.	Guía de aplicación metodológica.....	77
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	80
6.	CONCLUSIONES	84
7.	SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS DE GRADO.....	86
8.	ANEXOS.....	87
9.	REFERENCIAS BLIBLIOGRAFICAS	90

Lista de figuras

Figura 1. Desglose del problema	9
Figura 2. Estructura de desglose de proyecto genérica para los proyectos de la constructora de estudio.....	33
Figura 3. Diagrama de pareto de actividades con incrementos	35
Figura 4. Diagrama de pareto de actividades con disminuciones.....	39
Figura 5. Cargo y años de experiencia de los encuestados.....	43
Figura 6. Respuestas a encuesta para la agrupación de acabados.....	46
Figura 7. Respuestas a encuesta para la agrupación de equipos	44
Figura 8. Respuestas a encuesta para la agrupación de estructuras	44
Figura 9. Respuestas a encuesta para la agrupación de redes de media y baja tensión.	48
Figura 10: Entradas, herramientas y salidas en el desarrollo para la dirección del proyecto	56
Figura 11: Proceso estándar según necesidad de obra.....	57
Figura 12: Resumen de flujo de procesos en monitoreo y control del PMBOK	57
Figura 13: Descripción general de gestión de adquisiciones de proyectos.....	58
Figura 14: Flujo para adquisición en compras.....	60
Figura 15: Flujo para adquisición en contratos.....	60
Figura 16: Descripción general de gestión de cronograma de proyectos	65
Figura 17: Descripción general de gestión de costos del proyectos	69
Figura 18. Diagrama de flujo metodología propuesta	73

Lista de tablas

Tabla 1. Convenciones utilizadas en tabla 2.....	30
Tabla 2. Criterio de selección de proyectos.....	31
Tabla 3. Variaciones de presupuesto incluida administración.....	31
Tabla 4. Variaciones de presupuesto sin administración.....	32
Tabla 5. Variaciones en duración del proyecto.....	32
Tabla 6. Listado de capítulos	34
Tabla 7. Capítulos con mayores incrementos	36
Tabla 8. Capítulos con mayores disminuciones	37
Tabla 9. Selección de capítulos con mayores incrementos	37
Tabla 10. Selección de capítulos con mayores disminuciones	38
Tabla 11. Cálculo del porcentaje de variación neta para las actividades que componen el capítulo 4 del proyecto 1	39
Tabla 12. Actividades clave.....	40
Tabla 13. Actividades con el mismo tipo de variación en costo en más de dos proyectos	41
Tabla 14. Actividades críticas según los encuestados	46
Tabla 15. Diferencias entre metodologías ágiles y tradicionales	46
Tabla 16. Comparativo metodológico entre Lean Construction y PMBOK	48
Tabla 17. Resultado cálculo de indicadores proyectos seleccionados.....	54
Tabla 18. Posibles resultados para los indicadores planteados.	73

PALABRAS CLAVE

Actividades Clave: Tareas esenciales cuya desviación en tiempo y costo afecta significativamente el éxito del proyecto.

Diagrama de Pareto: Herramienta para identificar y priorizar las actividades más relevantes en términos de impacto presupuestal.

Estimación al Finalizar (EAC): Proyección del costo total al finalizar el proyecto.

Indicadores de Control: Herramientas de medición que permiten monitorear el avance y desempeño de un proyecto.

Índice de Desempeño de Costo (CPI): Relación entre el valor ganado y el costo real, para medir la eficiencia en el uso del presupuesto.

Índice de Desempeño del Cronograma (SPI): Mide la eficiencia del avance del proyecto en relación con el cronograma.

Metodología: Conjunto de principios, técnicas y herramientas utilizadas para planificar, ejecutar, monitorear y cerrar proyectos de manera efectiva.

Ruta Crítica: Secuencia de actividades que no pueden retrasarse sin impactar la fecha final del proyecto.

Valor Ganado (Earned Value - EV): Medida del trabajo realizado en términos de presupuesto.

Variación de Costo (CV): Indicador de la diferencia entre el valor ganado y el costo real.

Variación del Cronograma (SV): Indicador que mide la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado.

ABSTRACT

This thesis presents a comprehensive study aimed at improving the control of key activities during the execution phase of housing projects. The main objective is to propose a methodology that utilizes control indicators to monitor and evaluate project performance, with a special focus on time and cost management. The research emphasizes the importance of keeping project schedules and budgets under control, as any deviation in these areas can lead to additional costs, delays, and reduced profitability.

The study begins with the selection of a set of housing projects with similar characteristics in terms of construction systems, common areas, and finish standards. Through a detailed analysis of these projects, key activities that significantly impact both time and cost are identified. These key activities form the foundation of the proposed control methodology. The Earned Value Management (EVM) system is central to the proposed solution, as it provides essential metrics such as Planned Value (PV), Earned Value (EV), and Actual Cost (AC). These indicators enable the various project stakeholders to compare planned performance with actual results, helping them to detect early deviations and take corrective measures.

In the development of the thesis, it also explores the challenges faced by construction companies, including external factors such as fluctuations in material costs and labor shortages, as well as internal issues related to planning and coordination. By addressing these challenges through structured monitoring, the research argues that companies can avoid cost overruns and delays.

Finally, the research includes practical recommendations for applying the methodology within housing construction projects, demonstrating its potential to improve overall efficiency, reduce risks, and ensure successful project completion within the established time and cost parameters. The study concludes that the implementation of this methodology can significantly enhance the ability of construction companies to deliver projects on time and within budget, thus improving profitability and stakeholder satisfaction.

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta un estudio exhaustivo cuyo objetivo es mejorar el control de las actividades clave durante la fase de ejecución de proyectos de vivienda. El propósito principal es proponer una metodología que utilice indicadores de control para monitorear y evaluar el desempeño de los proyectos, enfocándose especialmente en la gestión del tiempo y el costo. La investigación recalca la importancia de mantener bajo control los cronogramas y presupuestos de los proyectos, dado que cualquier desviación en estas, puede generar costos adicionales, retrasos y reducir la rentabilidad.

El estudio inicia con la selección de un conjunto de proyectos de vivienda con características similares en cuanto a los sistemas constructivos, áreas comunes y estándares de acabado. A través de un análisis detallado de estos proyectos, se identifican las actividades clave que impactan de manera significativa tanto en el tiempo como en el costo. Estas actividades clave constituyen la base de la metodología de control propuesta. El sistema de Gestión del Valor Ganado es central en la solución propuesta, ya que proporciona métricas esenciales como el Valor Planificado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Real (AC). Estos indicadores permiten a los diferentes actores del proyecto comparar el desempeño planificado con los resultados reales, ayudándoles a detectar desviaciones tempranas y a tomar medidas correctivas.

En el desarrollo del trabajo de grado, también explora los desafíos que enfrentan las empresas constructoras, incluidos factores externos como las fluctuaciones en los costos de los materiales y la escasez de mano de obra, así como problemas internos relacionados con la planificación y coordinación. Al abordar estos desafíos mediante un seguimiento estructurado, la investigación sostiene que las empresas pueden evitar sobrecostos y retrasos.

Finalmente, la investigación incluye recomendaciones prácticas para aplicar la metodología dentro de los proyectos de construcción de vivienda, demostrando su potencial para mejorar la eficiencia general, reducir los riesgos y garantizar la finalización exitosa de los proyectos dentro de los parámetros de tiempo y costo establecidos. El estudio concluye que la implementación de esta metodología puede mejorar significativamente la capacidad de las empresas constructoras para entregar proyectos a tiempo y dentro del presupuesto, mejorando así la rentabilidad y la satisfacción de los interesados.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una cadena productiva que presenta grandes ventajas en la sociedad, a través de ella se satisfacen las necesidades de infraestructura y vivienda, constituye una importante fuente de empleo y dinamiza el desarrollo económico dada la inversión de recursos tanto públicos como privados y la conexión con otras áreas económicas. Uno de los eslabones en la cadena productiva lo representan las empresas encargadas de realizar la comercialización y ejecución de los proyectos de construcción de infraestructura y vivienda, también lo son las empresas encargadas de los diseños, así como las empresas que realizan todas las fases del proceso constructivo, desde la planificación hasta la entrega final, estas empresas ejecutan proyectos en un periodo de tiempo con una asignación de recursos específica y un alcance determinado (MinCIT, 2019).

La teoría del triángulo de hierro o triple restricción como se le conoce a la relación alcance, tiempo y costo, provee un marco de trabajo sobre cualquier proyecto y al cumplirlo se le denomina al proyecto exitoso. En los proyectos de construcción de vivienda, uno de los grandes desafíos es terminarlo en los parámetros de tiempo y costos establecidos; pese a que todas las etapas del ciclo de vida del proyecto tienen influencia, la ejecución de la obra representa el mayor desafío de seguimiento y control dada la variabilidad de sus actividades y la influencia de factores internos y externos. Los sistemas de control de proyectos indican la dirección del cambio en las variables de planificación preliminar en comparación con el desempeño real; en caso de que el desempeño del proyecto actual se desvíe del desempeño planeado, se debe indicar una advertencia para la toma de acciones correctivas. El sistema de gestión de valor ganado ha desempeñado un papel central en el control de proyectos proporcionando métricas de rendimiento claves y sencillas que miden las desviaciones entre el rendimiento planificado y el real en términos de tiempo y costo (Colin & Vanhoucke, 2014).

Esta investigación se enfoca en proponer una metodología para el monitoreo y control en el desempeño de los componentes tiempo y costo en proyectos de construcción de vivienda específicamente en su fase de ejecución de obra, con el fin de determinar si el proceso está o no bajo control de tal manera que se tomen acciones correctivas y lograr la rentabilidad esperada.

1.1. Definición del problema

A continuación, se presenta la definición del problema de investigación, seguido por la pregunta y finalmente el alcance.

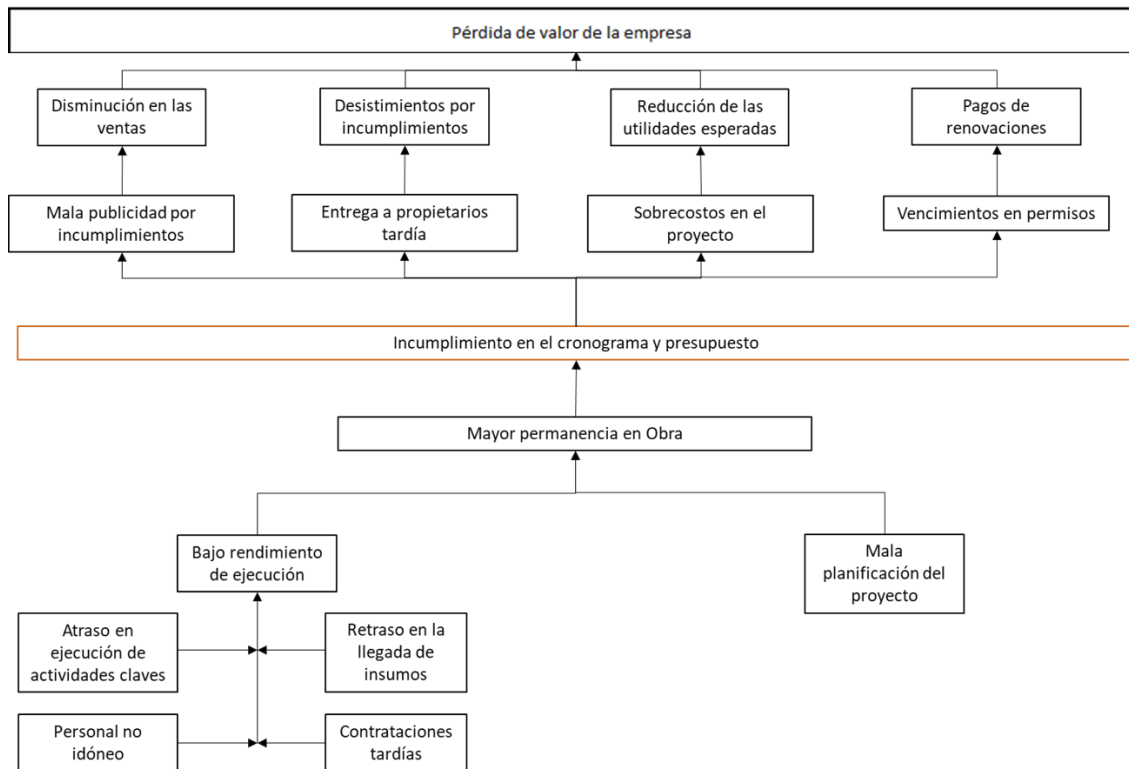
El sector de la construcción y los subsectores de infraestructura y obras civiles son actividades impulsoras, esto significa que son sectores claves para la configuración de una política anticíclica, toda vez que tienen altos encadenamientos hacia atrás (insumos intermedios) con otras actividades productivas, tales como industria (metal, maquinaria y equipo, madera, sustancias químicas básicas, caucho, plástico, coquización, refinación de petróleo y mezcla de combustibles), extracción (minerales no metálicos y otras minas y canteras), y servicios (inmobiliarios, financieros, profesionales) (CAMACOL, 2020). Dada la importancia de la construcción y del subsector de obras civiles o construcciones de tipo residencial en la economía y especialmente en el desarrollo de la sociedad, es fundamental apalancar las empresas dedicadas a dicha actividad económica.

Uno de los mayores retos en la ejecución de proyectos de construcción, dada la naturaleza variable de las actividades de este tipo de proyectos, es lograr los objetivos planteados en términos de cronograma y presupuesto, que sin duda alguna representa el éxito de este en términos de rentabilidad. En la figura 1 se esquematiza como sin embargo, los resultados obtenidos no siempre son los esperados, y fácilmente pueden llevar a la pérdida de valor en una empresa constructora dados una serie de factores tales como la disminución en las ventas por mala publicidad, desistimientos por entregas tardías, mayores costos del proyecto, incremento en pagos por licencias vencidas derivado del atraso en obra, factores que son producto de la alteración del cumplimiento del cronograma y el presupuesto, demostrando una carencia en el seguimiento y control de las actividades que componen el proceso constructivo del proyecto al generarse contrataciones tardías, retraso en la llegada de insumos, personal no calificado, atraso en la ejecución de actividades clave, bajo rendimiento en la ejecución e incluso una mala planificación del proyecto. De acuerdo con el método de la ruta crítica (Figuroa, 2001), cualquier aumento en la duración de la actividad crítica conduce a un aumento en la duración del proyecto y dicha duración es directamente proporcional al incremento en el costo y por ende al no cumplimiento del presupuesto.

El desglose del problema planteado en la figura 1 se desarrolló como hipótesis con base en los análisis realizados durante 8 años en una empresa de construcción que será motivo de análisis y con la cual se desarrollara este trabajo de grado, la misma hace referencia a las causas que pueden ocasionar el incumplimiento en el cronograma y el presupuesto de un proyecto de construcción, así como las consecuencias, no solo llevando a situaciones particulares del proyecto si no una eventual y posible pérdida de valor de la empresa por cada uno de los factores negativos asociados al nombre de esta. Por lo anterior, se presenta la necesidad de desarrollar una metodología de seguimiento y control a las actividades críticas o claves de los proyectos de vivienda, mediante el uso de indicadores como herramienta que permitan cuantificar el comportamiento de dichas actividades, facilitando el seguimiento del rendimiento del proyecto, establecer las posibles desviaciones y afectaciones logrando la toma de decisiones oportunas y el cumplimiento de los objetivos planteados en términos de cronograma y presupuesto.

Figura 1

Desglose del problema



1.2. Justificación

El sector de la construcción, particularmente la actividad edificadora que incluye la construcción de vivienda aporta a la economía dinamismo y es parte fundamental para el desarrollo de la nación, aporta un 5.1% al Producto Interno Bruto (PIB) siendo el sexto sector económico más importante del país (CAMACOL, 2023). En la generación de empleos, según el (DANE, 2023), en julio de 2023 la construcción participo en un 7.4% del total de ocupados a nivel nacional, así mismo tuvo un incremento de 15.9% de personas ocupadas en el sector respecto al mismo mes del año 2022.

A junio del 2023, según el (DANE, 2023), se licenciaron 13,500 soluciones de vivienda, aproximadamente 5,600 soluciones de vivienda menos respecto al mismo mes del año inmediatamente anterior, lo cual representa una reducción aproximada del 41.4%, según (CAMACOL, 2023) solo en VIS, a mayo de 2023 se presentó una reducción del 66% respecto al mismo mes del año inmediatamente anterior, también hace énfasis que, en los primeros cinco meses del 2023 se dejaron de vender 64,000 viviendas respecto al mismo periodo del año anterior, lo que representa una reducción de 13 billones en inversión en vivienda nueva (1% del PIB)

Según el (DANE, 2023) en 2019 había un total de 55,162 empresas de construcción de edificaciones residenciales y no residenciales, en el 2021 cerro en 51,105 empresas lo que representa una reducción cercana al 8% de las empresas dedicadas a la construcción de vivienda posterior a la pandemia

Así mismo es importante tener en cuenta las cifras en la inversión de vivienda posterior al cambio de gobierno nacional que según (CAMACOL, 2023) a marzo de 2023 habían 40,000 viviendas listas que no habían podido ser entregadas por ausencia de subsidios de vivienda de mi casa ya, esto equivale que las empresas del sector constructor de vivienda tienen en su inventario 40,000 viviendas ejecutadas, con la inversión realizada, afectando su flujo de caja y pagando intereses de créditos constructores que era muy difícil haber contemplado en una prefactibilidad.

El índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV) que estuvo vigente hasta 2021 y posteriormente paso a ser el ICOCED anual promedio entre el 2010 y el 2021 fue del 3.96% mientras que el índice de costos de la construcción de edificaciones (ICOCED) para el 2022 fue del 9.95% en lo corrido del 2023 fue de 8.6% (DANE, 2023) superando los últimos dos años

drásticamente los promedios anuales de la última década, denotando incrementos que no estaban contemplados en ningún panorama en la formulación de proyectos previa a la ejecución.

El panorama actual de la construcción, la política nacional, la economía global y los distintos factores que afectan las diferentes cadenas de suministro así como la mano de obra, señalan la importancia de la generación de valor de las empresas constructoras, aplicar la gestión de proyectos mediante el establecimiento de una metodología de seguimiento y control en la ejecución de los proyectos de construcción que permitan monitorear el comportamiento de estos, brindando la seguridad para ejecutarlos de manera exitosa.

Uno de los mayores inconvenientes que se presentan durante la ejecución de los proyectos de construcción de vivienda es el incumplimiento en el presupuesto y el cronograma que terminan generando mayores costos y afectando la rentabilidad del proyecto. Cuando una empresa constructora enfrenta problemas de rentabilidad, no solo se ve afectada la propia constructora, sino que también empiezan surgir efectos adversos en su cadena de suministro, afectando tanto a proveedores como a clientes. Los proveedores pueden enfrentar problemas financieros, con impactos en su liquidez y estabilidad debido al impago de facturas. Esto puede llevar a demandas y reclamaciones, generando costos adicionales y demoras. Además, la demanda de materiales puede verse alterada por el exceso de inventario, lo que afecta los precios y la disponibilidad de recursos. La planificación de futuros proyectos puede verse comprometida debido a la incertidumbre y al riesgo de nuevas pérdidas. A nivel local, la comunidad puede sufrir por la pérdida de empleos y el impacto en empresas que dependen del gasto de los empleados de la constructora. En resumen, cuando una empresa constructora experimenta problemas de rentabilidad, el efecto puede ser en cadena, afectando financiera y operativamente a todos los actores involucrados en la cadena de suministro. Por lo tanto, es crucial que las empresas gestionen cuidadosamente sus procesos para minimizar estos impactos.

Contar con una guía metodológica que permita desarrollar un sistema de seguimiento y control basado en indicadores de comportamiento en las actividades claves en la ejecución de un proyecto de vivienda, facilitaría identificar cualquier desviación y la toma oportuna de decisiones, por tal razón, esta investigación plantea desarrollar dicha metodología y sobre las actividades que representen la mayor relevancia en el proyecto, obtener respuesta a su comportamiento, y de esa manera cumplir con los objetivos de presupuesto y cronograma planteados del proyecto.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer una metodología para realizar el seguimiento a las actividades clave con la ayuda de indicadores de control en la fase de ejecución de proyectos de vivienda.

1.3.2. Objetivos específicos

El objetivo general se pretende alcanzar cuando se desarrollen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las actividades cuya desviación en tiempo y costo generen mayor impacto en el proyecto, para enfocar en ellas el control y catalogarlas como actividades clave.
- Seleccionar los indicadores de control y sus parámetros de aceptación para realizar un análisis del comportamiento para la gestión de control.
- Elaborar la guía metodológica de control y su plan de aplicación.

1.4. Organización del documento

En el capítulo 1 se realiza una introducción al problema de investigación, la definición, justificación y objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo del trabajo de grado.

En el capítulo 2 se encuentra la revisión bibliográfica realizada acerca del tema de investigación y las definiciones teóricas sobre los diferentes métodos que serán utilizados para solucionar el problema de investigación.

En el capítulo 3 se describe la metodología implementada para la selección de los proyectos de vivienda, selección de capítulos de mayor impacto en cada proyecto y la selección de las actividades de mayor impacto para cada uno de los capítulos seleccionados, así mismo el proceso para la determinación de actividades clave sobre las cuales calcular los indicadores de control.

En el capítulo 4 se describe la metodología propuesta con sus respectivas herramientas, indicadores, forma de evaluación de indicadores y descripción del proceso a seguir, producto de la investigación realizada.

En el capítulo 5 se presentan los resultados de la investigación y el análisis de estos.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones y sugerencias para futuros trabajos de grado

En el capítulo 7 se enumeran los anexos del trabajo de grado.

Finalmente, en el capítulo 8 se presentan las referencias bibliográficas en las cuales se apoyó la investigación del presente trabajo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Estado del arte

Según el Project Management Institute, Inc (PMI), los proyectos son formulados con el propósito de satisfacer necesidades, solucionar problemas, generar oportunidades de inversión y crear productos o servicios a partir de requisitos técnicos que posibilitan el desarrollo de conocimientos, habilidades y destrezas. Estas exigencias buscan que la formulación y la ejecución planteada en la metodología se articulen con los objetivos y resultados esperados. La búsqueda del éxito de los proyectos ha logrado encaminar muchas investigaciones en diferentes prácticas y métodos, que buscan una eficiencia en la gestión de dichos proyectos.

Uno de los métodos más utilizados para la gestión de proyectos, es el método de valor ganado, según (Naderpour & Mofid, 2011), el concepto de valor fue concebido por ingenieros industriales que trabajaban en fábricas estadounidenses hace más de un siglo; sin embargo, mucha literatura argumenta su nacimiento en 1962 en un proyecto del departamento de defensa estadounidense y en el año 1998 se hace obligatorio su uso en todos los contratos de defensa en Estados Unidos. Naderpour & Mofid, (2011) utilizaron la gestión del valor ganado para mejorar la gestión de la construcción, compararon métodos tradicionales de gestión de proyectos con el sistema de gestión de valor ganado para la construcción de un centro educativo.

Se han planteado modificaciones al método del valor ganado, especialmente para proyectos de construcción que proporcionen mayor exactitud en la previsión de desviaciones en alguno de los componentes del “triángulo de hierro”, tomando como base que los proyectos de construcción son de naturaleza estocásticas, (Votto et al., 2020) presenta un enfoque de control estadístico de proyectos utilizando gráficos de control multivariante para monitorear simultáneamente la duración y el desempeño de costos de los proyectos. El enfoque utiliza el índice de rendimiento de costos, de la gestión del valor ganado (EVM), y el índice de rendimiento de la duración (DPI) de la gestión de la duración ganada, para construir la estadística monitoreada.

(Chan & Chan, 2012) Realizó una investigación sobre la identificación de indicadores clave de rendimiento (KPI), que puede ayudar a los tomadores de decisiones a medir y comparar los niveles de rendimiento de los proyectos de construcción; estos indicadores son esenciales para la mejora continua del desempeño del proyecto y para mejorar la rentabilidad de todo el proceso de

adquisiciones. Adicionalmente, buscó equipar a diferentes partes interesadas importantes del proyecto, con el conocimiento y la solidez necesarios.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Marco teórico gestión de proyectos

Sin importar el tamaño de un proyecto, es trascendental realizar un minucioso seguimiento durante su progreso, partiendo desde la planeación y diseño hasta la ejecución; una vez iniciada la etapa de ejecución se debe monitorear y verificar que progrese de acuerdo con lo establecido, con la intención de minimizar su margen de error. Una de las funciones de la gestión de proyectos (PM) es asegurar el éxito del proyecto. El éxito del proyecto ha sido el objetivo de discusiones fructíferas en la literatura de gestión de proyectos (De Carvalho & Rabechini Junior, 2015). Sin embargo, lograr el éxito en un proyecto de construcción no es una tarea pequeña. Además, la medición del rendimiento de un proyecto de construcción en sí está destinada a ser una cuestión discutible, ya que no hay criterios universalmente aceptados para ello. Tradicionalmente, los cumplimientos de tiempo, costo y alcance comúnmente conocidos como “triángulo de hierro” han sido aceptados como los criterios más utilizados para medir el rendimiento (Jha & Iyer, 2007).

Los criterios financieros se han utilizado para medir el rendimiento del proyecto, incluyendo el rendimiento económico y los análisis de costos/beneficios. Otra forma de evaluar los beneficios de PM es analizar los márgenes de los proyectos en curso de una empresa. Las métricas de rendimiento del proyecto más utilizadas son las relacionadas con la obtención de la programación planificada inicialmente y los valores de costo al final del proyecto (de Carvalho et al., 2015). Es significativo diferenciar entre el éxito de la gestión de proyectos y el éxito del proyecto; según (Munns & Bjeirmi, 1996), la principal diferencia radica en la definición de Proyecto: “logro de un objetivo específico, que implica una serie de actividades y tareas que consumen recursos”, en comparación con Gestión de Proyectos: “el proceso de control de la consecución de los objetivos del proyecto, mediante la aplicación de una colección de herramientas y técnicas”. Por lo tanto, el éxito de la PM se considera medible durante y al final del proyecto (incluyendo el cumplimiento del

presupuesto y el cronograma), mientras que el éxito del proyecto va más allá de eso, al centrarse en el resultado a largo plazo y orientados al cliente. (Papke-Shields et al., 2010).

2.2.2. Marco teórico gestión de costo y tiempo

Probablemente, asegurar la invariabilidad del costo de un proyecto es la preocupación más importante que se tiene en cualquier negocio cuando se decide realizar un proyecto. La Gestión de costo se puede definir como el control que hay que llevar a cabo para mantener el costo dentro de los límites marcados por el objetivo de la misión (Figueroa, 2001) es decir el presupuesto.

Según Ling (2004), los costos de un proyecto de construcción pueden gestionarse desde tres perspectivas, minimizar el costo unitario, minimizar el crecimiento de los costos y maximizar el rendimiento. Los Gerentes de proyectos, pueden estar interesados en reducir el costo unitario o valor por metro cuadrado del proyecto, definido como costo final del proyecto dividido por el área total de construcción; minimizar el crecimiento de los costos, asegurando que el costo final del proyecto no sea más que el costo presupuestado; o tener una alta intensidad del proyecto, para lograr mayor producción en menor tiempo, definido por el costo unitario por el tiempo total (Ling, 2004). Para realizar un buen planteamiento que controle el costo, se deben considerar las causas que podrían modificar el presupuesto objetivo. Muchos elementos sean exógenos o endógenos pueden influir en la generación de la causa, por lo tanto, se debe realizar una previsión de por dónde se pueden generar desviaciones y preparar la estrategia que contemplen esas causas. (Figueroa, 2001).

Según Marcos (2001), el plazo es la función núcleo que se plantea en el modelo estratégico como la expresión del momento y la duración en los que se desea que se produzcan determinados hitos del ciclo. Dentro del hilo conductor del modelo estratégico, se identifica como la “integración de las acciones”, lo que hace que todos trabajen en la misma dirección y la ejecución del proyecto progrese cumpliendo los términos de tiempo previstos.

En los proyectos de construcción, el tiempo se gestiona maximizando la velocidad de construcción, que es dada por el área construida durante la ejecución dividida por el periodo de construcción; maximizando la velocidad de entrega, que es la velocidad general teniendo

en cuenta la duración del proyecto desde el inicio; y el crecimiento del horario (Ling, 2004). El uso de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) permite parcializar el conjunto por partes, analizando con más facilidad las interdependencias que existen entre ellas, como consecuencia de ello, las actividades se pueden ordenar de la más pronta a la más tardía generando una relación de dependencia y restricciones. La EDT es un método práctico y visual de la información que permite ir creando relaciones de control de tiempo en cada una de las actividades (Figueroa, 2001). Para llevar la Gestión del tiempo se deben conocer las actividades con las que van a incidir en forma directa con el plazo final, con ello se debe determinar cuáles actividades serán las críticas. Se entiende como actividad crítica aquella que un retraso en su inicio proporciona retraso en el final de toda la operación (Figueroa, 2001). La sucesión de las actividades críticas genera la ruta crítica del proyecto, la cual marca en qué momentos y actividades no se admiten retrasos y cuya desviación repercute de forma casi automática en el retraso final del proyecto. Con ello, se determina que lo significativo en la gestión del tiempo, es enfocarse en lo realmente importante, velar por el cumplimiento de las actividades que conforman la ruta crítica, y evitar que las actividades no críticas se transformen a críticas por descuido (Figueroa, 2001).

2.2.3. Marco teórico metodologías gestión de proyectos

Según el PMBOK del Project Management Institute, (2017), en la gestión de proyectos, la metodología se refiere a un conjunto estructurado de principios, práctica, herramientas y técnicas diseñadas para planificar, ejecutar, controlar y cerrar proyectos de manera eficaz. Esta metodología proporciona un marco claro y sistemático para guiar todas las fases del proyecto desde su inicio hasta su finalización. Existen dos enfoques principales en la gestión de proyectos: la metodología ágil y la metodología tradicional. La metodología ágil se enfoca a en la flexibilidad, la colaboración continua y la entrega incremental de valor. Se basa en la premisa de que los requisitos del proyecto pueden cambiar y evolucionar en el tiempo, por lo que la capacidad de adaptarse a estos cambios es crucial. Por otro lado, la metodología tradicional también conocida como enfoque de cascada, es más lineal y secuencial, en este enfoque, el proyecto se gestiona de manera estructurada a través de una serie de fases claramente definidas, que deben completarse en orden antes de avanzar a la siguiente etapa.

Metodología Kanban:

Es un enfoque ágil que enmarca las tareas pendientes del proyecto utilizando elementos visuales tales como tarjetas de trabajo que serán ubicadas en tres columnas según su estado, pendiente, en proceso y terminada, esto permite visualizar fácilmente cada flujo de trabajo y el progreso del proyecto, buscando reducir la probabilidad de que se presenten cuellos de botella. Esta metodología es posible aplicarla con un software como herramienta tecnológica según la magnitud del proyecto, sin embargo, no es absolutamente necesario.

Metodología Scrum:

La característica referente es que se basa en un concepto denominado “Sprint” o sea procesos de trabajo que deben ser lo más rápidos posible para crear ciclos de proyecto, estas reuniones se conforman por un Scrum Master quien gestiona cualquier cambio que se requiera, un Product Owner, quien representa a los clientes o personas interesadas en que el proyecto se ejecute de manera correcta, un Stakeholder, que es el cliente y debe definir los requerimientos y Team que son las personas que ejecutan o producen el producto del proyecto a realizar.

Metodología Extreme Programming (XP):

Indicado en su nombre, es una programación extrema que se usa para gestionar proyectos en constante cambio y con plazos de entrega muy ajustados. Se requiere retroalimentación constante, es enfática en la adaptabilidad del proyecto garantizando que se consiga el resultado esperado, los participantes de esta metodología deben ser conscientes de que se tendrán constantes cambios en pro de ajustarse a las necesidades inmediatas del proyecto.

Metodología de proyectos en entornos controlados PRINCE2:

Es un enfoque basado en procesos que se centra en la organización y control del proyecto desde la fase inicial hasta la fase de cierre de este. Cada fase es planificada, estructurada y revisada detalladamente asegurando que no quede nada al azar. El equipo encargado de cada fase debe conocerla a fondo, determinando funciones y responsabilidades claramente definidas para garantizar una ejecución correcta. Además, la metodología PRINCE2 es adaptable según el tipo de proyecto. PRINCE fue desarrollada a

final de los años 80 para gestionar proyectos informáticos del gobierno británico. En 1996, se realizó un comité conformado por más de 150 organizaciones británicas actualizó la metodología para su uso en distintos sectores dando origen a PRINCE2.

Lean Construction:

Lean Construction no es una metodología en el sentido estricto, sino más bien una filosofía o enfoque basado en los principios Lean Manufacturing aplicados a la construcción. La filosofía Lean surgió en Japón alrededor de los años 50, de la mano de Toyota, como una alternativa para la producción en masa. En los años 90, se propuso la metodología Lean Construction, adoptando los elementos de la filosofía Lean con el objetivo de optimizar y mejorar los resultados de procesos constructivos. Uno de sus principios es la planificación colaborativa y detallada, utilizando la herramienta de Last Planner System para generar una programación transparente y confiable reduciendo así los riesgos en la ejecución del proyecto. Otro principio fundamental es la mejora continua conocida como Kaizen en japones.

2.2.4. Marco teórico sobre técnicas metodológicas.

El PMBOK del Project Management Institute, (2017) indica que una técnica metodológica es un conjunto estructurado de procedimientos y prácticas específicas que se utilizan para planificar, ejecutar, y controlar un proyecto de manera efectiva. Estas técnicas son parte de una metodología más amplia y proporcionan herramientas y procesos detallados para abordar diferentes aspectos del ciclo de vida del proyecto. Incluyen enfoques para la gestión del tiempo, los costos, los recursos, la calidad, la comunicación, los riesgos y las partes interesadas. El objetivo de estas técnicas es asegurar que el proyecto se complete a tiempo, dentro del presupuesto, y cumpliendo con los requisitos de calidad establecidos.

Método del valor ganado:

Un factor de éxito fundamental en cualquier proyecto es la capacidad del director para tomar decisiones correctas en el momento oportuno. La gestión de proyectos consta de dimensiones interrelacionadas como el tiempo y el costo, controladas por el cronograma que determina el inicio y el final de cada actividad y la estimación del tiempo utilizado por

cada una. Incluir el método de previsión del costo futuro del proyecto a través del análisis de valor ganado, depende de indicadores y claves específicos. Esta técnica ayuda a superar los riesgos que enfrenta el proyecto. (Ahmed et al., 2020). La Gestión del Valor Ganado o Método del Valor Ganado, proporciona un enfoque para medir el desempeño del comprobando su avance real con el planeado, permitiendo evaluar tendencias y formular pronósticos (Ambriz Avelar, 2008). Según (VÉLEZ, 2013) el método del valor ganado monitorea el proyecto mediante el análisis de respuestas expresadas en términos monetarios o en horas, respondiendo a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tanto trabajo se planifico?, denominado Valor Planificado (Planned Value VP); el costo presupuestado del trabajo programado en el punto de monitoreo, también conocido como BCWS.
- ¿Qué tanto trabajo realmente se ha completado?, denominado Valor Ganado (Earned Value EV); el costo presupuestado del trabajo realizado, también conocido como BCWP.
- ¿Qué tanto ha costado completar el trabajo que realmente se ha ejecutado?, denominado Costo Real (Actual Cost AC), también conocido como ACWP

En la industria de la construcción se utilizan diversas herramientas de control de proyectos, pero muchos proyectos se ejecutan por encima del presupuesto y con retrasos, lo que sugiere que algo no funciona en el sistema de control. El método del valor ganado se considera como la técnica integral para la gestión de costos y tiempos (Naderpour & Mofid, 2011).

Según (Czemplik, 2014) el concepto central del método del valor ganado es de naturaleza determinista, y se han estudiado enfoques adicionales para modelar los proyectos de construcción de manera probabilística. Otro grupo de estudio se enfoca en modificar el método del valor ganado para controlar mejor el tiempo del proyecto, ya que las medidas como la desviación de horario se expresan en unidades monetarias.

Técnica metodológica de la ruta crítica:

Para la programación y análisis de proyectos, el método de la ruta crítica consiste en representar las tareas que componen dicho proyecto, incluyendo la compensación entre la

duración y el costo. La regla básica es que cualquier aumento en la duración de una actividad crítica conduce a un aumento en la duración del proyecto y cualquier disminución en la duración conduce a una disminución en la duración del proyecto. La ruta crítica de la red del proyecto es la secuencia más larga que proporciona el periodo mínimo de tiempo en el que se puede completar todo el proyecto. (Ahmed et al., 2020). Según Ahmed, la ruta crítica incluye 2 etapas básicas.

Etapa 1: El algoritmo de desplazamiento hacia adelante que incluye el cálculo de la ruta crítica desde el principio hasta el final basados en la ecuación 1.

$$E_{sj} = \text{Max} (E_{si} + D_{ij}) \quad (1)$$

Donde E_{sj} denota el inicio tardío de la actividad, E_{si} es el inicio temprano de la actividad determinada, generalmente para la primera actividad es cero y D_{ij} corresponde a la duración de la actividad.

Etapa 2: El algoritmo de desplazamiento hacia atrás, que es lo opuesto al desplazamiento frontal y se basa en la siguiente ecuación 2:

$$L_{fi} = \text{Min} (L_{fj} + D_{ij}) \quad (2)$$

Donde L_{fi} denota la finalización anticipada de una actividad determinada, L_{fj} es la finalización tardía de la actividad, generalmente para la primera actividad es cero y D_{ij} corresponde a la duración de la actividad.

La diferencia de tiempo entre el comienzo temprano y el comienzo tardío se llama elasticidad de tiempo en el que se puede retrasar la actividad sin afectar la duración total del proyecto.

Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto son herramientas efectivas para identificar los componentes más importantes dentro de un grupo de datos categorizado. Estos diagramas permiten obtener una representación visual rápida de la importancia relativa de cada componente. Según el manual desarrollado por Palisade (2016) para el software @risk 7.6 indica que

usualmente el 20% de los componentes de un grupo abarca el 80% del valor total del mismo grupo.

Para desarrollar un diagrama de Pareto se debe determinar el porcentaje relativo que representa cada actividad del grupo respecto al total del grupo; luego, se organiza de mayor a menor el porcentaje y finalmente se calcula el acumulado, teniendo esta información se grafica en el eje X los componentes del grupo y en el eje Y el porcentaje acumulado. El diagrama de Pareto facilita la asignación de recursos a los problemas más importantes para maximizar la eficacia de las acciones correctivas y ayuda a enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas que tendrán el mayor efecto positivo.

2.2.5. Project Management Body of Knowledge (PMBOK)

El PMBOK no es una metodología ni una técnica metodológica, sino que es un marco de referencia o cuerpo de conocimientos en gestión de proyectos. El PMBOK proporciona una guía estandarizada sobre las mejores prácticas, herramientas y técnicas para gestionar proyectos de manera más efectiva. Sirve como una referencia integral que cubre todos los aspectos de la gestión de proyectos desde la iniciación hasta el cierre, suministra las bases sobre las cuales se pueden desarrollar y aplicar diferentes metodologías y técnicas de gestión de proyectos.

2.2.6. Norma internacional ISO 21500

La norma ISO 21500 se publicó en el año 2012 por la Organización Internacional de normalización ofreciendo un marco de referencia para dirigir y gestionar proyectos, está compuesta principalmente por descripciones de alto nivel para los conceptos y los procesos que se deben tener en cuenta para gestionar proyectos y con esto lograr un incremento en la tasa de cumplimiento de objetivos, aumentar el nivel de satisfacción del producto y mejorar el desempeño en la toma de decisiones. Es aplicable a proyectos de cualquier índole, tamaño o duración.

2.2.7. Indicadores de control

(Czemplik, 2014), presenta un indicador denominado Indicador de pronóstico de programación (Schedule Forecast Indicator – SFI). El objetivo de este indicador es presentar un valor que exprese la posibilidad de lograr el éxito del proyecto con el retraso ocurrido por cambios en el diseño durante las fases del proyecto. Es decir, la dirección del proyecto puede validar, si se cumplirían el costo objetivo del proyecto y la fecha de finalización con la implementación de un cambio de diseño. La posibilidad de tolerancia efectiva depende del número de actividades críticas y no críticas restantes, donde el número de las actividades críticas es más importante, por lo tanto, la formula del SFI propone un factor de ponderación, como se ve en la ecuación 3.

$$SFI = \frac{\alpha * \sum_{START}^{STD}(tc) + \sum_{START}^{STD}(tnc)}{(\alpha + 1) \sum_{START}^{END}(tc + tnc)} \quad (3)$$

Donde $\alpha = \frac{\sum_{START}^{END}(tnc)}{\sum_{START}^{END}(tc)}$, $\sum_{START}^{STD}(tc)$ denota la duración total de todas las actividades críticas completadas, $\sum_{START}^{STD}(tnc)$ corresponde a la duración total de todas las actividades No críticas completadas, $\sum_{START}^{END}(tc)$ es la duración total de todas las actividades críticas y $\sum_{START}^{END}(tcn)$ indica la duración total de todas las actividades NO críticas.

(Chan y Chan, 2004) Basado en investigaciones anteriores, desarrolló un conjunto de indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir el éxito de la construcción, el propósito de los KPI es permitir la medición del desempeño del proyecto. Colin 2002 citado por (A. P. C. Chan & Chan, 2004) defiende que el proceso de desarrollo de KPI considera los siguientes factores:

- Los KPI son indicadores generales de desempeño que se enfocan en los aspectos críticos de productos o resultados.
- Sólo se puede mantener una cantidad limitada y manejable de KPI para su uso regular, Tener demasiados KPI y demasiados complejos, puede consumir tiempo y recursos.

- El uso sistemático de los KPI es esencial, ya que el valor de los KPI se deriva casi por completo de su uso constante en varios proyectos.
- La recopilación de datos debe ser lo más sencilla posible.
- Se requiere un tamaño de muestra grande para reducir el impacto de las variables específicas del proyecto. Por lo tanto, los KPI deben diseñarse para usarse en todos los proyectos de construcción.
- Para que la medición del desempeño sea eficaz, las medidas o los indicadores deben ser aceptados, comprendidos y asumidos por todos los actores del proyecto.
- Los KPI deberán evolucionar y es probable que un conjunto de KPI esté sujeto a cambios y mejoras.
- Las pantallas gráficas de KPI deben ser de diseño simple, fáciles de actualizar y accesibles.

Los KPI propuestos por (Chan & Chan, 2004) se dividen en dos grupos, el primero usa fórmulas matemáticas para calcular los valores respectivos estos son tiempo, costo, valor, seguridad y desempeño; y el segundo, utiliza opiniones subjetivas y juicios personales, en este grupo se incluyen calidad, funcionalidad, satisfacción. A continuación, se presentan 3 del grupo matemático.

- Indicadores de Hora o Tiempo. Se refieren a la duración para completar el proyecto, se relacionan con el concepto de “eficacia”. En esta categoría hay 3 conceptos, tiempo de construcción, velocidad de construcción y variación de tiempo.
- Tiempo de Construcción TC. Es el tiempo absoluto que se calcula como el número de días o semanas desde el inicio hasta la finalización real. Como se ve en la ecuación 4.

$$TC = Fecha\ de\ finalización\ real - Fecha\ de\ inicio\ real \quad (4)$$

- Velocidad de Construcción VC. Es el tiempo relativo, definida por la relación ente el área bruta del piso y el tiempo de construcción. Como se ve en la ecuación 5.

$$VC = \frac{\text{Superficie de suelo (m2)}}{\text{Tiempo de construcción (días o semanas)}} \quad (5)$$

- Variación de Tiempo VT. Se mide por el porcentaje de aumento o disminución del proyecto estimado en días o semana. Como se ve en la ecuación 6.

$$T = \frac{\text{Tiempo de Construcción}}{\text{Tiempo planeado}} \times 100\% \quad (6)$$

- Indicadores de Costo. El costo se define como el grado en las que las condiciones generales promueven la finalización de un proyecto dentro del presupuesto estimado. El costo se puede medir en términos de costo unitario, porcentaje de variación neta sobre el costo final.

- Costo Unitario CU. Es una medida del costo relativo y se define por la suma final del proyecto por el área bruta del piso. Como se ve en la ecuación 7

$$CU = \frac{\text{Suma final del proyecto}}{\text{Superficie del suelo (m2)}} \quad (7)$$

- Variación porcentual neta sobre el costo final. (porcentaje NETVAR). Es la relación entre las variaciones netas y la suma final del proyecto expresada en términos porcentuales. Como se ve en la ecuación 8.

$$\%NETVAR = \frac{\text{Valor de las variaciones}}{\text{Valor total del proyecto}} \times 100\% \quad (8)$$

Donde

Valor de las variaciones = Suma final del proyecto – Presupuesto base.

- Indicadores de Valor y Beneficio. Puede considerarse como el “beneficio empresarial” o la utilidad derivada del proyecto finalizado. La medida más común del logro financiero es el valor actual neto (VAN). Como se ve en la ecuación 9.

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{NCF t}{(1 + r)^t} \quad (9)$$

Donde VPN denota la duración total de todas las actividades críticas completadas, NCF el flujo de efectivo neto y R la tasa de descuento.

2.2.8. Indicadores clave del valor ganado

Un proyecto, como un sistema, debe ser adaptable a las circunstancias o desviaciones que se presenten; en un proyecto de construcción, así como la estructura del proyecto es importante, es igualmente importante el sistema de control, el cual debe colaborar para que la gestión del proyecto se realice de una manera eficiente y efectiva (Adan & Gomez, 2016).

La implementación de indicadores de gestión del valor ganado es un aspecto clave para para la gestión de proyectos, esta agrega valor al medir el desempeño de proyectos y dar una visión clara. Los indicadores de valor ganado tienen dos propósitos fundamentales, determinar si el desempeño del proyecto en tiempo y presupuesto es el adecuado. (PMO informática. (2017). 7 indicadores de gestión de valor ganado. Recuperado de <http://www.pmoinformatica.com/2017/01/indicadores-gestion-valor-ganado.html>).

- Variación de horario o Variación del Cronograma (SV). Establece una relación entre el valor ganado menos el valor planificado, permite analizar si el proyecto se está ejecutando según su cronograma, si se encuentra adelantado o retrasado. La ecuación se define así:

$$SV = EV - PV \quad (10)$$

Donde EV corresponde al valor ganado y PV es el valor planificado.

- Índice de rendimiento del Programa (SPI). O también llamado índice de desempeño del cronograma, muestra que tan eficiente está avanzando el proyecto en comparación con el cronograma planificado, el marco metodológico del PMBOK lo

define como una medición de la eficiencia en el cronograma, expresada como un cociente (ratio) del valor planificado con el valor ganado. La ecuación se define así:

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (11)$$

Donde EV corresponde al valor ganado y PV es el valor planificado.

- Variación de Costo (CV). Es la sustracción del valor ganado (que incluye los costos presupuestados de las actividades que se han completado hasta el momento), menos los costos reales, si la diferencia es negativa significa que el proyecto está por encima de su presupuesto. La ecuación se define así:

$$CV = EV - AC \quad (12)$$

Donde EV corresponde al valor ganado y AC es el costo real.

- Índice de rendimiento de costos (CPI). Es la medición de costo-eficiencia de los recursos presupuestados, expresada como el cociente (ratio) del valor ganado al costo real. Este costo especifica cuanto se está ganando (expresado en términos de presupuesto ejecutado de actividades finalizadas) en relación con el dinero que se está invirtiendo en el proyecto, en términos más concisos, es una indicación de que tan ajustado está el proyecto al presupuesto. La ecuación se define así:

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (13)$$

Donde EV corresponde al valor ganado y AC es el costo real.

- Estimación al finalizar (EAC). Representa la proyección de cuánto costará el proyecto al finalizar. La ecuación se define así:

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} \quad (14)$$

Donde BAC corresponde al presupuesto total del proyecto y CPI es el índice de rendimiento de costos.

- Porcentaje de variación de costos (CV%). Indica cuanto por encima o por debajo del presupuesto está el proyecto en términos de porcentaje. La ecuación se define así:

$$CV\% = \frac{CV}{EV} \times 100 \quad (15)$$

Donde *CV* corresponde a la variación del costo y *EV* es el valor ganado.

- Porcentaje de Variación de horario o cronograma (SV%). Muestra que tan cerca se apega al programa en términos de porcentaje, permite determinar cuánto trabajo se necesita completar o cuanto trabajo se ha realizado por encima de su costo presupuestado. La ecuación se define así:

$$SV\% = \frac{SV}{PV} \times 100 \quad (16)$$

Donde *SV* corresponde a la variación de horario o cronograma y *PV* es el valor planeado.

- Valor Planeado (PV). Es el presupuesto asignado y autorizado para ejecutar una actividad o componente de la estructura de desglose de trabajo. También conocido como el costo presupuestado del trabajo planificado, representa el costo del proyecto que se debe haber incurrido a una fecha específica, si se ha cumplido el cronograma. La ecuación se define así:

$$PV = \%COMPLETADO \text{ PLANIFICADO} \times BAC \quad (17)$$

Donde *BAC* corresponde al presupuesto total del proyecto.

- Valor Ganado (EV). Corresponde a una valoración del trabajo que ha sido finalizado a una fecha específica, también es conocido como el costo presupuestado del trabajo realizado. La ecuación se define así:

$$EV = \%COMPLETADO \text{ REAL} \times BAC \quad (18)$$

Donde *BAC* corresponde al presupuesto total del proyecto.

La diferencia entre el valor planificado y el valor ganado es que, el primero muestra el valor del presupuesto del trabajo a realizar a una fecha específica, mientras que el valor ganado muestra el valor presupuesto que de hecho ha sido ejecutado. (PMO informática. (2017). 7 indicadores de gestión de valor ganado. Recuperado de <http://www.pmoinformatica.com/2017/01/indicadores-gestion-valor-ganado.html>).

3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología utilizada durante el desarrollo del proyecto:

3.1. Selección de proyectos de vivienda y determinación de actividades clave

En una constructora de Santiago de Cali se analizaron los proyectos de vivienda ejecutados entre 2017 y 2021 buscando no tener en cuenta los proyectos afectados por pandemia, paro nacional y demás situaciones atípicas de contexto nacional y global que a la actualidad han elevado los costos de construcción de manera inesperada. Se obtuvieron un total de 10 proyectos con diferentes condiciones en cuanto a su sistema constructivo, entendiéndose por sistema constructivo los materiales, elementos, procedimientos y técnicas necesarias para la construcción del proyecto. Composición de las zonas comunes del proyecto, si contaban o no con sótanos y el acabado final de los apartamentos, en la tabla 1 se aprecia las convenciones utilizadas para los diferentes aspectos mencionados.

Tabla 1.

Convenciones utilizadas en tabla 2

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ZONAS COMUNES		UBICACIÓN	
APORTICADO	A	SALÓN SOCIAL	SS	NORTE	N
INDUSTRIALIZADO	I	PISCINA	PIS	SUR	S
OTRO	O	PORTEÍA	POR		

Se seleccionaron 5 proyectos que tuvieran características similares en desarrollo de sistema y proceso constructivo, ubicación, zonas comunes, construcción de sótanos y porcentaje de área vendible sobre área construida; los proyectos debían cumplir con sistema industrializado, que tuvieran sótanos, entregados con acabados, ubicados en el norte de la ciudad, zonas comunes que incluyeran salón social, piscina, portería y porcentaje de área vendible superior al 64% del área construida como se describe en la tabla 2. En esta selección no se determinó el nivel de confianza de la muestra ya que la selección fue manual dentro de un número pequeño y limitado de proyectos de la Constructora de estudio.

De acuerdo con la tabla 2, los proyectos D, E, F, G y H cumplieron con las condiciones establecidas. Sobre estos cinco proyectos, se analizó la información del presupuesto y de la duración, tanto inicial como final, con ello se determinaron las respectivas variaciones. En la tabla

3 se muestran los porcentajes de variación que tuvo cada uno de los proyectos seleccionados, encontrando proyectos con variaciones positivas y proyectos con variaciones negativas. En los casos de las variaciones positivas, donde el proyecto se ejecutó con un valor inferior al valor presupuestado, se obtuvo una rentabilidad mayor a la esperada. Sin embargo, en los casos contrarios, la variación negativa debió cubrirse con la rentabilidad estimada para el proyecto. Incluso, en el caso del proyecto H, la rentabilidad esperada no fue suficiente para cubrir dicha variación negativa, por lo que la empresa debió utilizar capital propio para poder culminar el proyecto.

Tabla 2

Criterio de selección de proyectos

PROYECTO	SISTEMA CONSTRUCTIVO			UBICACIÓN		ZONAS COMUNES			SÓTANO		ACABADOS		% ÁREA VENDIBLE / ÁREA CONSTRUIDA
	A	I	O	N	S	SS	PIS	POR	SI	NO	SI	NO	
A	X			X		X	X	X	X		X		55.00%
B		X			X	X	X	X		X		X	87.60%
C		X		X		X	X	X	X		X		61.00%
D		X		X		X	X	X	X		X		67.79%
E		X		X		X	X	X	X		X		70.44%
F		X		X		X	X	X	X		X		70.59%
G		X		X		X	X	X	X		X		64.44%
H		X		X		X	X	X	X		X		64.01%
I	X				X	X	X	X	X		X		50.89%
J	X				X	X	X	X	X		X		61.00%

Tabla 3

Variaciones de presupuesto incluida administración.

PROYECTO		PRESUPUESTO INICIAL	PRESUPUESTO FINAL	DIFERENCIA	
				\$	%
D	PROYECTO 1	\$ 20,228,028,016	\$ 21,375,815,108	-\$ 1,147,787,092	-5.67%
E	PROYECTO 2	\$ 18,072,984,805	\$ 19,116,791,843	-\$ 1,043,807,038	-5.78%
F	PROYECTO 3	\$ 27,165,075,159	\$ 26,013,568,642	\$ 1,151,506,517	4.24%
G	PROYECTO 4	\$ 11,377,545,981	\$ 12,521,323,049	-\$ 1,143,777,068	-10.05%
H	PROYECTO 5	\$ 8,220,176,082	\$ 9,716,803,694	-\$ 1,496,627,612	-18.21%

Dado que la administración del proyecto de construcción no se refiere a actividades propias de ejecución de obra, sino que hace referencia al grupo de agentes y gastos de dichos agentes que participan en el desarrollo de cada uno de los proyectos, se apartó de la información a analizar y

se tomó lo directamente relacionado con actividades de ejecución de obra. En la tabla 4 se muestran los valores de los proyectos sin incluir la administración de estos, se nota como en esta empresa constructora, las diferencias porcentuales disminuyen significativamente, teniendo así que los mayores costos administrativos derivados de la mayor permanencia de obra mostrada en la tabla 5, impactan entre un 30% y un 50% la diferencia final entre el presupuesto inicial del proyecto y el verdadero costo de este.

Tabla 4

Variaciones de presupuesto sin administración.

PROYECTO		PRESUPUESTO INICIAL	PRESUPUESTO FINAL	DIFERENCIA	
				\$	%
D	PROYECTO 1	\$ 18,833,924,096	\$ 19,471,833,383	-\$ 637,909,287	-3.39%
E	PROYECTO 2	\$ 17,443,912,374	\$ 17,853,195,056	-\$ 409,282,682	-2.35%
F	PROYECTO 3	\$ 25,921,642,322	\$ 24,269,706,010	\$ 1,651,936,312	6.37%
G	PROYECTO 4	\$ 10,794,176,661	\$ 11,361,893,232	-\$ 567,716,571	-5.26%
H	PROYECTO 5	\$ 7,868,506,586	\$ 8,886,699,688	-\$ 1,018,193,102	-12.94%

Tabla 5

Variaciones en duración del proyecto.

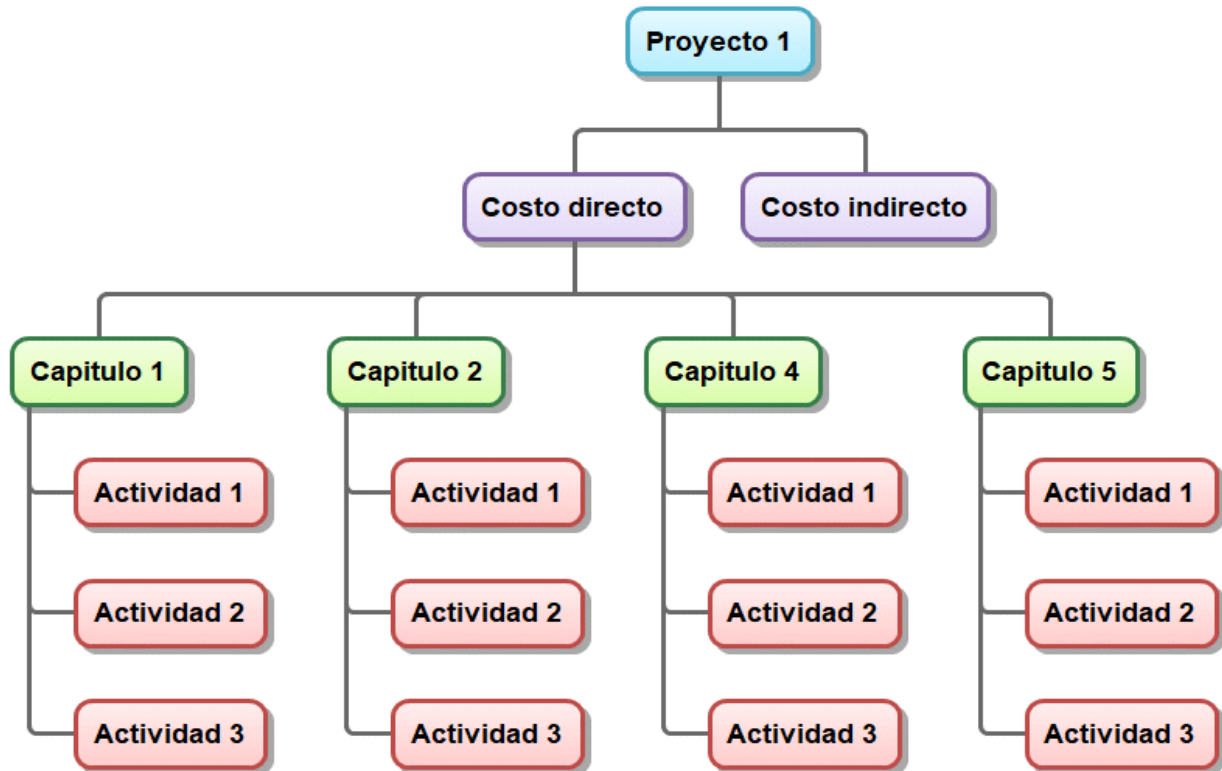
PROYECTO		DURACION INICIAL	DURACION FINAL	DIFERENCIA	
				MESES	%
D	PROYECTO 1	36	45	9	25.00%
E	PROYECTO 2	18	30	12	66.67%
F	PROYECTO 3	27	37	10	37.04%
G	PROYECTO 4	19	31	12	63.16%
H	PROYECTO 5	12	22	10	83.33%

De acuerdo con las tablas 4 y 5, los proyectos seleccionados cuentan con variaciones porcentuales significativas tanto en presupuesto como en cronograma.

En adelante se entiende como capítulo a una agrupación de actividades del presupuesto y para ejecución de obra, a continuación, se puede apreciar en la figura 2 una estructura de desglose de proyecto genérica para los proyectos de la constructora sobre la que se realizó el estudio.

Figura 2.

Estructura de desglose de proyecto genérica para los proyectos de la constructora de estudio.



Posterior a la selección de proyectos se procedió con el análisis de los capítulos que componen los mismos. Los 5 proyectos seleccionados cuentan con la misma conformación de capítulos como se muestra en la tabla 6, se identificó cuáles son los capítulos que presentaban mayores variaciones en su comportamiento presupuestal concentrados en aquellos que presentaban incremento realizando un diagrama de Pareto.

Para calcular el porcentaje de variación, primero se determinó cual es la incidencia que el capítulo tenía dentro del presupuesto y la desviación presentada, con la incidencia y la desviación se determinó la variación neta.

Tabla 6.*Listado de capítulos*

CAPITULOS	
1-PRELIMINARES	26-ZONAS VERDES
2-MOVIMIENTOS DE TIERRAS	27-ANDENES Y PAVIMENTOS EXTERIORES
3-MURO DE CONTENCION	28-ALCANTARILLADO
4-CIEMENTOS	29-FILTROS / RIEGOS
5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO	30-ACUEDUCTO Y EQUIPOS DE BOMBEO
6-MAMPOSTERIA	31-SISTEMA CONTRAINCENDIO
7-SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO	32-SISTEMA PARA GAS
8-ESTRUCTURAS METALICAS	33-CERRAMIENTOS
9-CUBIERTAS	34-CERRADURAS Y ACCESORIOS
10-IMPERMEABILIZACION	35-SEÑALIZACION
11-REPELLOS / MORTEROS	36-PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA
12-PISOS	37-SUBESTACIONES ELECTRICAS
13-ENCHAPES Y ACCESORIOS	38-REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION
14-INSTALACIONES SANITARIAS	39-ACABADOS ZONAS COMUNES
15-INSTALACIONES HIDRAULICAS	40-PISCINA Y ZONA ANEXAS
16-INSTALACIONES ELECTRICAS	41-TANQUE ALMACENAMIENTO
17-PINTURA, ESTUCOS Y ACABADOS	42-SALON SOCIAL
18-CARPINTERIA EN ALUMINIO	43-PORTERIA- LOBBY- UAR
19-CARPINTERIA DE MADERA	44-SEGURIDAD INDUSTRIAL
20-CARPINTERIA METALICA	45-REDES DE COMUNICACIONES
21-EQUIPAMIENTO BAÑOS Y COCINAS	46-ILUMINACIÓN
22-MESONES	47-EQUIPOS EN ALQUILER Y PROPIOS
23-VIDRIOS Y ESPEJOS	48-GRIFERIAS
24-ASEOS - RETIROS - DETALLADOS FINALES	49-POST-VENTA
25-EQUIPOS ESPECIALES Y DOTACIONES	

Nota: Buscando tener total fidelidad de la información extraída del software de seguimiento de la constructora de estudio, los nombres de los capítulos y actividades han sido tomados exactamente como aparecen en el software. Los capítulos y actividades en su mayoría no tienen las respectivas tildes por los problemas generados al momento de realizar búsquedas. Dentro de los capítulos de los presupuestos de la constructora de estudio, se encuentra la Post-Venta ya que es considerada parte del costo directo dentro de la filosofía de la constructora, con ello se determinan recursos finitos y se les realiza seguimiento a las actividades ejecutadas bajo esta consigna.

Para cada uno de los capítulos se procede a calcular el porcentaje de variación neta con la ecuación 19.

$$\% \text{ VARIACION NETA CAPITULOS} = \frac{VPC - VEC}{VPC} \times \frac{VPC}{VPT} \quad (19)$$

Donde *VPC* corresponde al valor del presupuesto para el capítulo, *VEC* corresponde al valor del ejecutado para el capítulo y *VPT* es el valor total del presupuesto.

Teniendo calculado para todos los proyectos le porcentaje de variación neta y con el apoyo de los diagramas de Pareto de la Figura 3 y Figura 4, se agruparon los capítulos que hacen parte del 80% más relevante en el Pareto de incrementos y del Pareto de disminuciones para cada proyecto, obteniendo así la tabla 7 y la tabla 8, seleccionando los capítulos de mayor impacto y sobre los cuales se realizó el análisis para incrementos y disminuciones en el valor de ejecución respecto al presupuesto.

Figura 3.

Diagrama de Pareto de actividades con incrementos

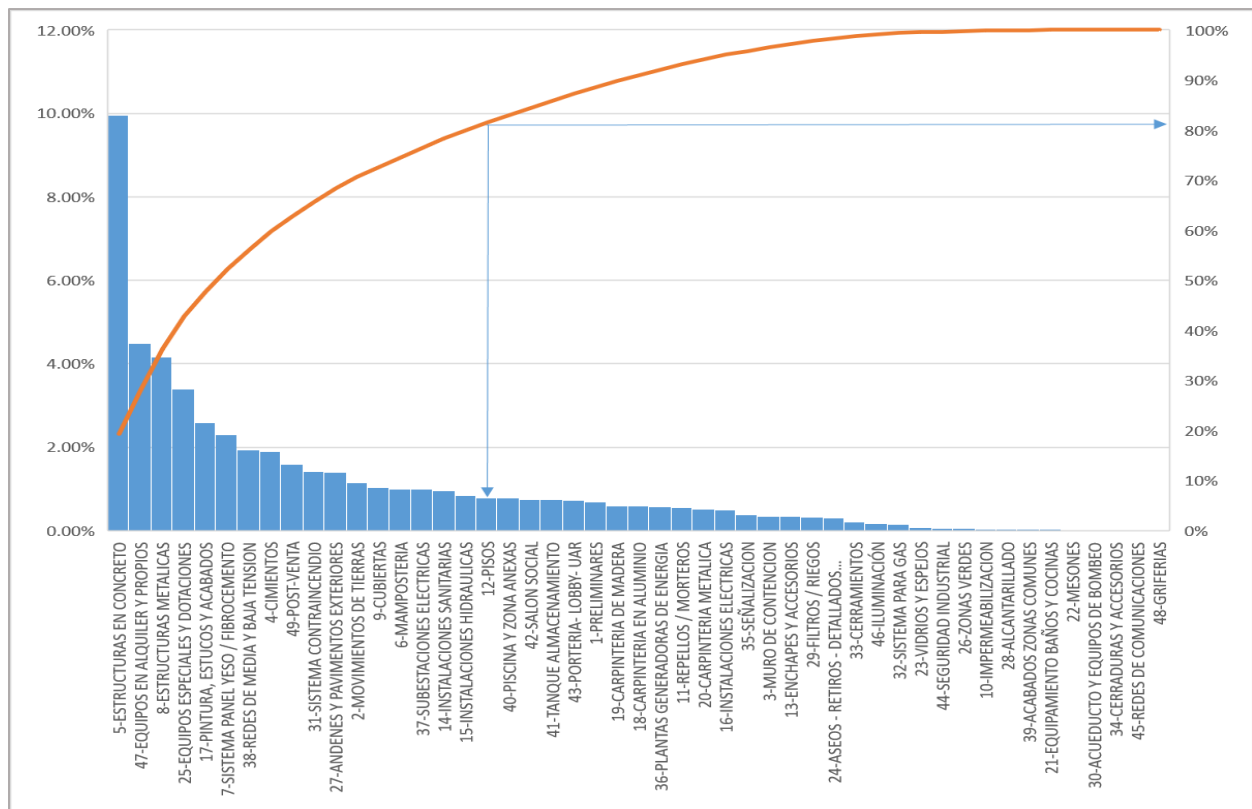


Figura 4.

Diagrama de Pareto de actividades con disminuciones

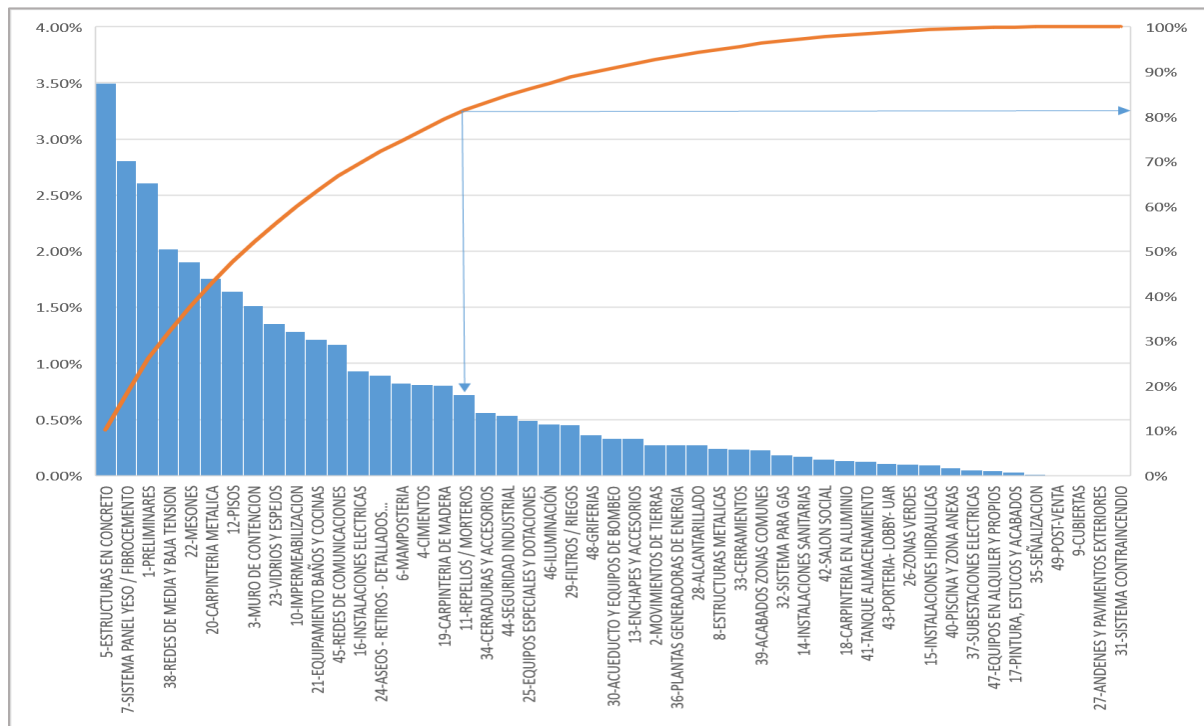


Tabla 7.

Capítulos con mayores incrementos

CAPITULOS	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4	PROYECTO 5
2-MOVIMIENTOS DE TIERRAS	0.43%				0.53%
4-CIMENTOS	0.72%			0.56%	0.61%
5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO		0.65%		1.81%	7.38%
6-MAMPOSTERIA		0.52%			
7-SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO	0.97%	1.33%			
8-ESTRUCTURAS METALICAS		0.46%		0.93%	2.76%
9-CUBIERTAS			0.17%		
12-PISOS		0.66%			
14-INSTALACIONES SANITARIAS					0.82%
15-INSTALACIONES HIDRAULICAS					0.66%
17-PINTURA, ESTUCOS Y ACABADOS	0.86%	0.57%		0.87%	
25-EQUIPOS ESPECIALES Y DOTACIONES		0.32%	0.33%	1.36%	1.39%
27-ANDENES Y PAVIMENTOS EXTERIORES	0.29%	0.53%			
31-SISTEMA CONTRA INCENDIO	0.48%	0.21%	0.18%		
37-SUBESTACIONES ELECTRICAS			0.16%		0.62%
38-REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION			0.11%	0.45%	1.39%
47-EQUIPOS EN ALQUILER Y PROPIOS	0.59%	0.45%		2.18%	1.26%
49-POST-VENTA	1.18%				

Tabla 8.*Capítulos con mayores disminuciones*

CAPITULOS	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4	PROYECTO 5
1-PRELIMINARES				1.15%	1.41%
3-MURO DE CONTENCIÓN			0.18%		1.12%
4-CIMENTOS		0.60%	0.22%		
5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO			3.50%		
6-MAMPOSTERIA	0.54%		0.29%		
7-SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO			0.32%	0.52%	1.97%
10-IMPERMEABILIZACIÓN		0.45%		0.51%	
11-REPELOS / MORTEROS		0.32%			
12-PISOS			0.43%	0.34%	0.87%
16-INSTALACIONES ELECTRICAS			0.35%	0.44%	
19-CARPINTERIA DE MADERA					0.51%
20-CARPINTERIA METALICA	0.34%	0.70%		0.68%	
21-EQUIPAMIENTO BAÑOS Y COCINAS	0.72%			0.45%	
22-MESONES	0.68%	0.52%			0.70%
23-VIDRIOS Y ESPEJOS		1.12%			
24-ASEOS - RETIROS - DETALLADOS FINALES					0.62%
38-REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION	1.66%	0.36%			
45-REDES DE COMUNICACIONES		0.56%	0.21%	0.29%	

Una vez identificados los capítulos que hacían parte del Pareto de incrementos y disminuciones en el presupuesto, se seleccionaron aquellos capítulos que se encontraban en más del 50% de los proyectos o sea en 3 o más proyectos como se muestra en la tabla 9 y tabla 10 respectivamente.

Tabla 9.*Selección de capítulos con mayores incrementos*

CAPITULOS	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4	PROYECTO 5
Capítulos con desviación neta negativa (Incrementos)					
5-ESTRUCTURAS EN CONCRETO		0.65%		1.81%	7.38%
47-EQUIPOS EN ALQUILER Y PROPIOS	0.59%	0.45%		2.18%	1.26%
8-ESTRUCTURAS METALICAS		0.46%		0.93%	2.76%
25-EQUIPOS ESPECIALES Y DOTACIONES		0.32%	0.33%	1.36%	1.39%
17-PINTURA, ESTUCOS Y ACABADOS	0.86%	0.57%		0.87%	
38-REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION			0.11%	0.45%	1.39%
4-CIMENTOS	0.72%			0.56%	0.61%
31-SISTEMA CONTRA INCENDIO	0.48%	0.21%	0.18%		

Tabla 10.*Selección de capítulos con mayores disminuciones*

CAPITULOS	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3	PROYECTO 4	PROYECTO 5
Capítulos con desviación neta positiva (Disminuciones)					
7-SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO			0.32%	0.52%	1.97%
22-MESONES	0.68%	0.52%			0.70%
20-CARPINTERIA METALICA	0.34%	0.70%		0.68%	
12-PISOS			0.43%	0.34%	0.87%
45-REDES DE COMUNICACIONES		0.56%	0.21%	0.29%	

Estando identificados los capítulos sobre los cuales se debe realizar el análisis, se toman las actividades que hacen parte de cada uno de dichos capítulos y se calcula el porcentaje de variación neta siguiendo la ecuación 20:

$$\% \text{ VARIACION NETA ITEMS} = \frac{VPI - VEI}{VPI} \times \frac{VPI}{VPC} \quad (20)$$

Donde *VPI* corresponde al valor del presupuesto para la actividad, *VEI* corresponde al valor del ejecutado para la actividad y *VPC* es el valor del presupuesto para el capítulo.

A continuación, se presenta la tabla 11 como ejercicio, en la que se ejemplifica el cálculo y análisis previamente mencionados para un cálculo específico de un único proyecto. La información del presupuesto y lo ejecutado para cada capítulo y proyecto proviene de la base de datos de la constructora sobre la cual se desarrolla este trabajo de grado. En este caso, se utiliza el capítulo 4 (cimientos) del proyecto 1. Las tablas detalladas para los demás capítulos y proyectos se encuentran en los anexos del documento.

Tabla 11.

Cálculo del porcentaje de variación neta para las actividades que componen el capítulo 4 del proyecto 1.

DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO	EJECUTADO	DIFERENCIA	% EN PPTO	% EN PROY	% DESVIACIÓN	% VARIACIÓN NETA
CIMENTOS	\$ 640,503,628	\$ 775,582,553	-\$ 135,078,925	100.00%	100.00%	-21.09%	
VIGA DE CIMENTACION y FOSO ASCENSOR	\$ 209,492,444	\$ 225,014,379	-\$ 15,521,936	32.71%	29.01%	-7.41%	-2.42%
CONTRAPISO H=8 CMS	\$ 67,566,777	\$ 136,865,505	-\$ 69,298,728	10.55%	17.65%	-102.56%	-10.82%
SOLADO DE LIMPIEZA E=5 CMS CON CONCRETO DE 3000 PSI	\$ 19,732,901	\$ 31,737,050	-\$ 12,004,149	3.08%	4.09%	-60.83%	-1.87%
ACERO DE REFUERZO CIMENTACION	\$ 137,328,965	\$ 130,151,236	\$ 7,177,729	21.44%	16.78%	5.23%	1.12%
MALLA ELECTROSOLDA CONTRAPISO	\$ 22,301,384	\$ 17,524,888	\$ 4,776,496	3.48%	2.26%	21.42%	0.75%
CONCRETO CICLOPEO 40% PIEDRA	\$ 1,278,070	\$ 3,483,403	-\$ 2,205,332	0.20%	0.45%	-172.55%	-0.34%
ZAPATA EN CONCRETO 3000 PSI	\$ 12,516,055	\$ 11,493,879	\$ 1,022,176	1.95%	1.48%	8.17%	0.16%
LOSADA DE PAVIMENTO MR 42 E=0.13 mts.	\$ 150,753,148	\$ 180,081,653	-\$ 29,328,505	23.54%	23.22%	-19.45%	-4.58%
EXCAVACION A MANO	\$ 1,010,375	\$ 10,243,417	-\$ 9,233,042	0.16%	1.32%	-913.82%	-1.44%
RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO	\$ 18,523,509	\$ 20,732,816	-\$ 2,209,306	2.89%	2.67%	-11.93%	-0.34%
PEDESTAL EN CONCRETO	\$ -	\$ 8,254,328	-\$ 8,254,328	0.00%	1.06%	Indeterminado	Indeterminado

Con la información obtenida en la tabla 11 se determinaron las actividades que conforman el diagrama de Pareto para obtener una variación neta acumulada superior al 80%, la información detallada para cada proyecto y capítulo se puede encontrar en los anexos 3, 9, 15, 21 y 27.

En los anexos 2, 8, 14, 20 y 26 se encuentran detallados los cálculos realizados para cada una de las actividades que componen los capítulos de la tabla 9 y la tabla 10.

Para cada uno de los proyectos, revisaron los cronogramas de obra establecidos por la empresa constructora y se analizaron las actividades de la ruta crítica ellos definieron. Los cronogramas de cada proyecto están disponibles en los anexos 4, 10, 16, 22 y 28, mientras que el listado de actividades críticas puede consultarse en los anexos 5, 11, 17, 23 y 29.

Una actividad clave se define como aquella que tiene variación de costo y forma parte de la ruta crítica. En cada capítulo y proyecto, se identificaron las actividades clave que aparecen en el diagrama de Pareto. Los anexos 6, 12, 18, 24 y 30 contienen los detalles de estas actividades clave y sus valores para cada proyecto. La tabla 12 presenta un resumen de las actividades clave sin las variaciones económicas detalladas.

Tabla 12.*Actividades clave.*

PROYECTO	TIPO DE VARIACION	CAPITULO	ACTIVIDAD
PROYECTO 1	ALZA	CIMENTOS	Contrapiso h=8 cms
		ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Acero de refuerzo muros Pantallas en concreto 4000 PSI
		PINTURA, ESTUCOS Y ACABADOS	Graniplast sobre muros y cielos punto fijo
	BAJA	CARPINTERIA METALICA	Barandas de puntos fijos
PROYECTO 2	ALZA	ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Muros estructurales de concreto E=0.10
		PINTURA, ESTUCOS Y ACABADOS	Repello Acr. Estuco y pintura muros
PROYECTO 3	BAJA	PISOS	Piso ceramica 60x60 - Torre C
PROYECTO 4	ALZA	ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Muros en concreto 21 MPa E=0.12 - Torre A Muros en concreto 21 MPa E=0.15 - Torre A
		SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO	Muro panel yeso 2 caras - Torre A
	BAJA	PISOS	Piso ceramica fusion biege 60 x 60 cm - Torre A Apartamentos
PROYECTO 5	ALZA	ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Muros en concreto 28 MPa E=0.12 - Torre A
			Muros en concreto 21 MPa E=0.12 - Torre A
			Acero de refuerzo figurado - Edificio industrializado - Torre A Muros
			Placa entrepiso concreto 21 MPa E=0.10 - Torre A
	CIMENTACION	Losa de cimentacion concreto 21 MPa H=1.00m - Torre A	
BAJA	PISOS	Piso ceramica San pietro beige 60 x 60 cm - Torre A Punto fijo	

La información contenida en la tabla 12 revela que, en tres de los proyectos la actividad de “muros estructurales en concreto” presenta variaciones al alza, mientras que, en tres de los proyectos la actividad de piso en cerámica 60 x 60 cm presenta variaciones a la baja. Ambas actividades forman parte de la ruta crítica en sus respectivos proyectos. Dado que estas dos actividades son clave, el desarrollo del trabajo de grado se debería enfocar en ellas. Sin embargo, analizar solo una actividad para cada tipo de variación es insuficiente para abordar todos los objetivos del trabajo de grado. Por tal motivo, se decide ampliar el análisis para incluir todas las actividades con variaciones en costo, ya sea al alza o a la baja, independientemente de si forman parte de la ruta crítica. Como resultado se elaboró la tabla 13, que unifica las actividades que presentan el mismo tipo de variación en más de dos proyectos. Estas actividades se clasificaron en agrupaciones según el capítulo correspondiente, proporcionando una visión más completa para el análisis.

Tabla 13.

Actividades con el mismo tipo de variación en costo en más de dos proyectos.

AGRUPACION	CAPITULO	DESCRIPCIÓN
ACABADOS	MESONES	Meson cocina en quartztone incluye barra y salpicadero alto
	PINTURA ESTUCO Y ACABADOS	Cartera repello acrilico estuco y pintura 3 manos interior apartamentos
		Repello acrilico estuco y pintura muros internos apartamentos
	CARPINTERIA METALICA	baranda metalica para puntos fijos
		baranda metalica para balcon
	PISOS	Piso ceramica
	SISTEMA PANEL YESO / FIBROCEMENTO	Tapas en panel yeso
		Dilataciones en cielo en sistema liviano
		Dilatacion en muro en sistema liviano
		Muro panel yeso 2 caras
EQUIPOS	EQUIPOS EN ALQUILER Y PROPIOS	Equipos en alquiler
		Equipos propios
		Formaleta para estructura edificio industrializado
	EQUIPOS ESPECIALES Y DOTACIONES	Ascensor para torre
		Ascensor para sotanos
		Equipo sistema contra incendio
ESTRUCTURAS	CIMENTOS	Acero de refuerzo figurado Losa cimentacion
	ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Acero de refuerzo figurado - Edificio industrializado para muros
		losa aerea aligerada para cimentacion incluye encofrado
		Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado
		muros estructurales de concreto e=0.10
		Muros en concreto 21 MPa E=0.12 - Culatas
	Vigas descolgadas 12x20 cms concreto	
ESTRUCTURAS METALICAS	Estructura metalica para rampa vehicular	
REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION	REDES DE COMUNICACIONES	Sistema de television
	REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION	Acometida electrica para apartamentos
		Punto de conexión apartamentos
		Sistema de Apantallamiento
		Tablero de medidores

Con este análisis se obtuvieron 29 actividades sobre las cuales se dio continuidad al desarrollo del trabajo de grado, para ello se procedió a realizar una encuesta clasificada según las agrupaciones de la tabla 13, a profesionales en el sector de construcción en la cual se solicitó se determinara cuáles son las actividades más críticas en proyectos industrializados con un promedio de 12 pisos, según lo revisado por Collopy (1994) se observa que los análisis de precios unitarios para construcción se componen principalmente por los materiales, mano de obra y equipos, es por esto que se evaluaron las actividades según la compra de materiales para su ejecución, según la consecución de mano de obra calificada para la ejecución de la actividad, según la consecución de equipos para la ejecución y según la alta cantidad de interdependencias o incógnitas que pudiese

tener, denominado como complejidad de la actividad. Así mismo, el PMBOK del Project Management Institute, (2017) indica que la complejidad, los imprevistos y la ambigüedad son factores importantes en la incertidumbre en la ejecución de un proyecto, es por esto por lo que las actividades también se evaluaron según los imprevistos que puedan ser generados por factores internos o factores externos, tales como terremotos, maremotos, rayos, incendios, nuevas políticas públicas, cargas fiscales, devaluaciones, guerras, explosiones, conflictos, huelgas, paros, restricciones de jornadas de trabajo, que conllevan a escasez de materiales, alzas en los materiales, equipos, mano de obra, así mismo se evaluaron según los criterios de complejidad en su proceso constructivo.

La encuesta se distribuyó en grupos de difusión masiva con integrantes profesionales de ingeniería civil y arquitectura, así como directamente en diferentes obras de la ciudad, con el objetivo de obtener respuestas de gerentes, directores o coordinadores de personal de alto impacto en el sector de la construcción. Se seleccionaron altos perfiles debido a su importancia y relevancia en la toma de decisiones para la formulación, desarrollo y ejecución de proyectos de construcción. Según la Federación Nacional de Gestión Humana, en su informe anual de salarios 2023, en Cali existen cerca de 300 profesionales en estos rangos. Utilizando la ecuación 21, se calculó el tamaño de la muestra necesaria para continuar.

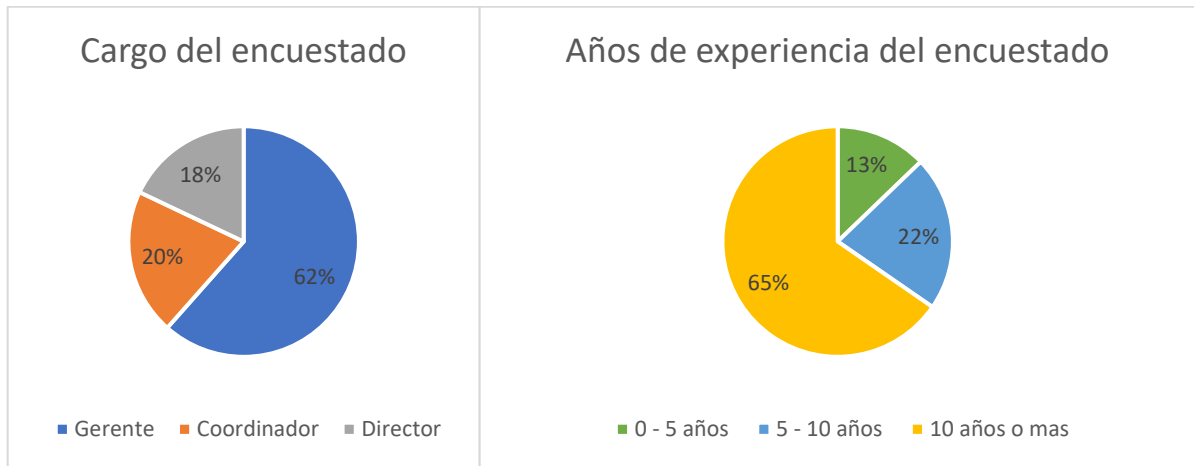
$$n = \frac{k^2 qpN}{e^2(N - 1) + k^2 pq} \quad (21)$$

Donde $N = 300$ corresponde a la población total que podría ser encuestada, $e = 5\%$ corresponde margen de error, $k = 1.65$ para un nivel de confianza del 90%, $p = 0.9$ para probabilidad de éxito del 90% y $q = 0.1$ para probabilidad de fracaso del 10%, obteniendo que la muestra debe ser cercana a los 76 profesionales.

Se obtuvieron 187 encuestas, de las cuales se omiten los cargos de menor rango al esperado tales como auxiliares, residentes u otros, dejando así solamente 78 respuestas. A continuación, se encuentran el resumen de las 78 encuestas utilizadas para el análisis. La Figura 5 muestra el cargo y el rango de años de experiencia de cada uno de los encuestados.

Figura 5.

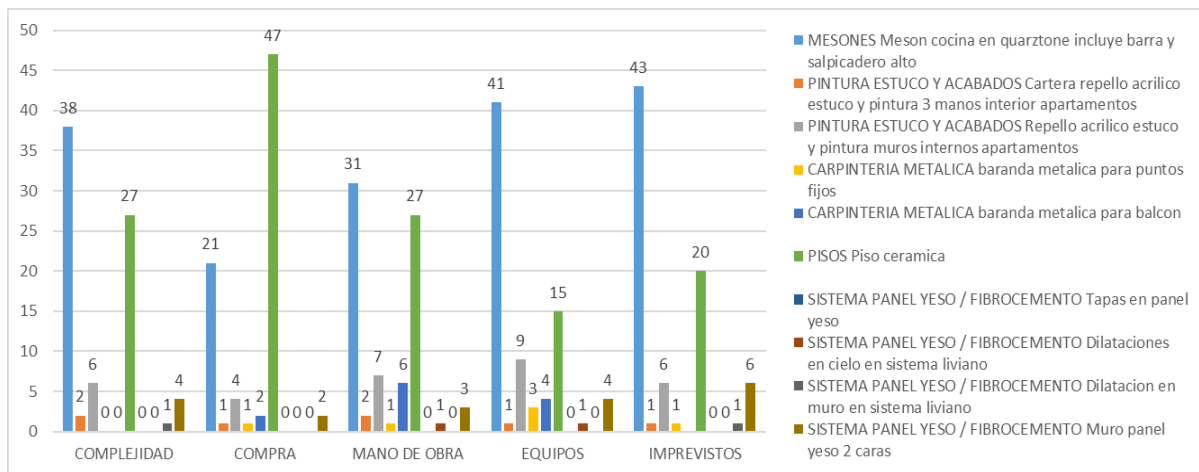
Cargo y años de experiencia de los encuestados.



En la Figura 6 se observa que la actividad de mesones en quartztone es la que mayor votación obtuvo para los criterios de complejidad, mano de obra, equipos e imprevistos, así mismo se observó que la actividad de pisos en cerámica obtuvo la mayor votación para el criterio de compra, es por este motivo que ambas se seleccionaron como actividades críticas del segmento de acabados.

Figura 6.

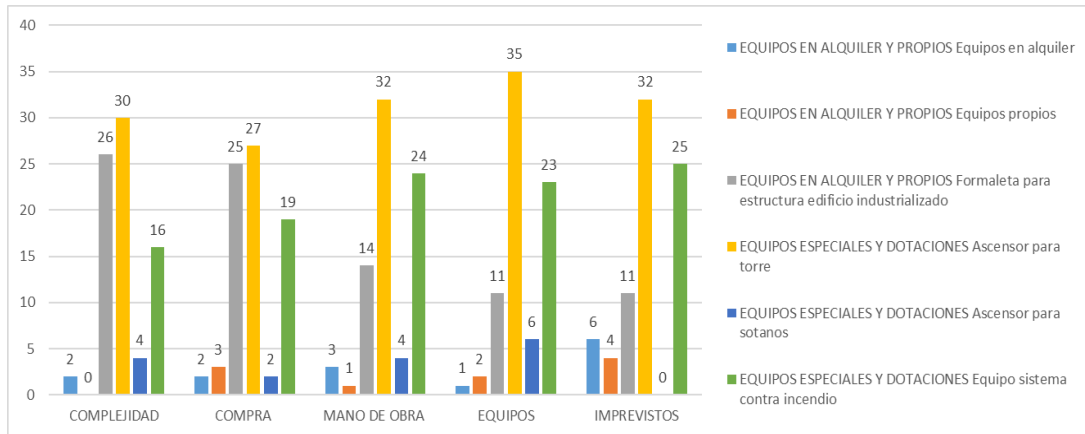
Respuestas a encuesta para la agrupación de acabados



En la Figura 7, destaca la actividad de ascensor para torre es la que mayor votación obtuvo para los cinco criterios sobre los que se pidió votar, es por este motivo que es la actividad crítica del segmento de equipos.

Figura 7.

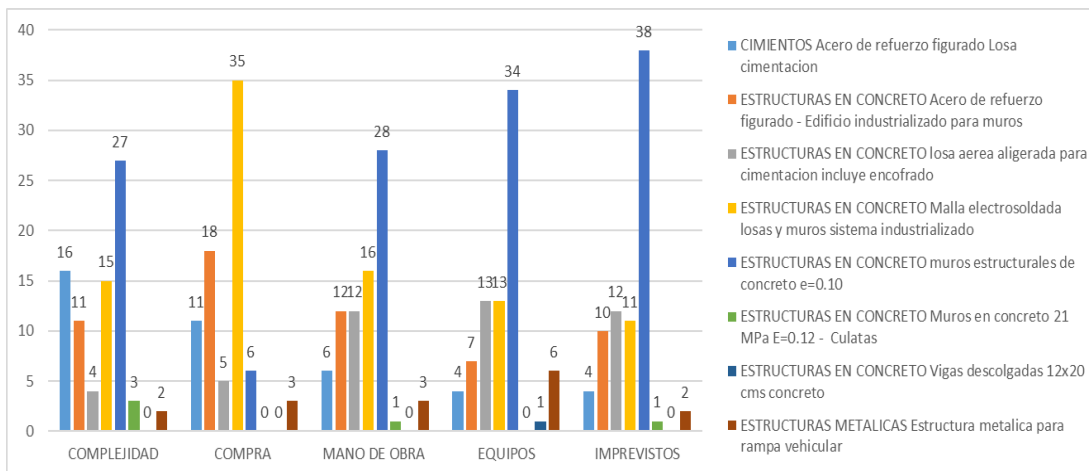
Respuestas a encuesta para la agrupación de equipos



En la Figura 8 muestra que la actividad de muros estructurales en concreto con espesor de 10 cm es la que mayor votación obtuvo para los criterios de complejidad, mano de obra, equipos e imprevistos, así mismo se observó que la actividad de malla electrosoldada obtuvo la mayor votación para el criterio de compra, es por este motivo que ambas se seleccionaron como actividades críticas del segmento de estructuras.

Figura 8.

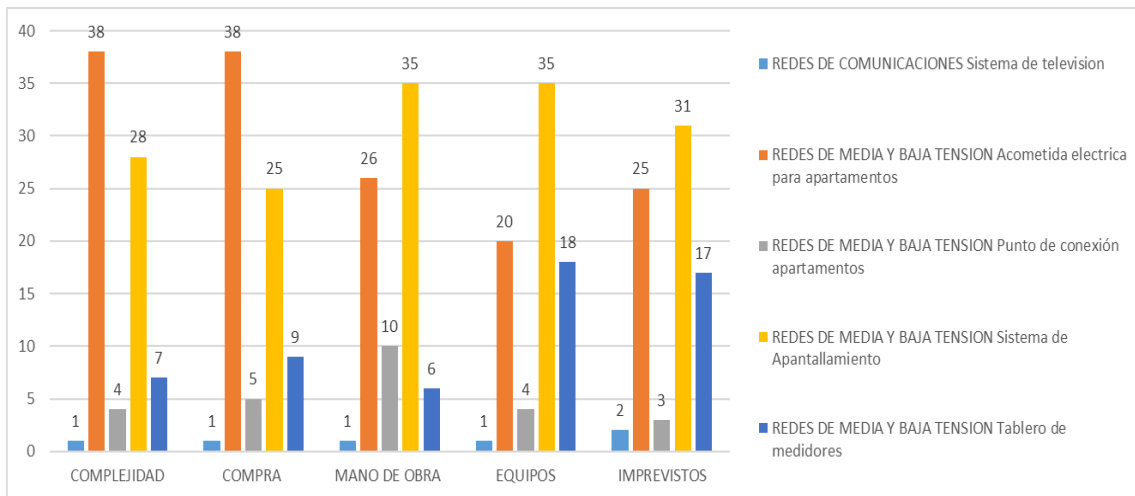
Respuestas a encuesta para la agrupación de estructuras



En la Figura 9 se aprecia que la actividad de acometida eléctrica para apartamentos es la que mayor votación obtuvo para los criterios de complejidad y compra, así mismo se observó que la actividad de sistema de apantallamiento obtuvo la mayor votación para el criterio de mano de obra, equipos e imprevistos, es por este motivo que ambas se seleccionaron como actividades críticas del segmento de redes de media y baja tensión.

Figura 9.

Respuestas a encuesta para la agrupación de redes de media y baja tensión.



Las actividades seleccionadas según los resultados de las encuestas y el desglose de las figuras 6, 7, 8 y 9 se presentan en la tabla 14, el valor de las actividades descritas en la tabla 14 corresponden aproximadamente al 0.48% de las actividades presupuestadas y al 9% del valor económico de los presupuestos evaluados, así mismo, el sobre costo acumulado por estas actividades representa el 70% del sobre costo acumulado de los proyectos evaluados. Dando cumplimiento al primer objetivo específico estipulado para este trabajo de grado.

Tabla 14.*Actividades críticas según los encuestados.*

AGRUPACION	CAPITULO	DESCRIPCIÓN
ACABADOS	MESONES	Meson cocina en quartztone incluye barra y salpicadero alto
	PISOS	Piso ceramica
EQUIPOS	EQUIPOS ESPECIALES Y DOTACIONES	Ascensor para torre
ESTRUCTURAS	ESTRUCTURAS EN CONCRETO	Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado
		muros estructurales de concreto e=0.10 m.
REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION	REDES DE MEDIA Y BAJA TENSION	Acometida electrica para apartamentos
		Sistema de Apantallamiento

3.2. Selección de indicadores de control y sus parámetros de aceptación

Para definir los indicadores de control que se utilizarán en el seguimiento de las actividades críticas mencionadas en la tabla 14, fue necesario seleccionar una metodología base que sirviera como fundamento para el desarrollo de la metodología propuesta en este trabajo de grado. Para ello, se realizó una comparación general, que se presenta en la tabla 15, entre las metodologías ágiles y las metodologías tradicionales. Esta comparación permitió evaluar las características clave de cada enfoque, como su flexibilidad, adaptabilidad, enfoque en la planificación y ejecución, y su capacidad para gestionar cambios en proyectos complejos. A partir de este análisis, se seleccionó la metodología más adecuada para garantizar un seguimiento efectivo de las actividades críticas, teniendo en cuenta las particularidades del proyecto y los requisitos de control y monitoreo establecidos.

Tabla 15.*Diferencias entre metodologías ágiles y tradicionales*

Metodologías Ágiles	Metodologías Tradicionales
Especialmente preparados para cambios durante el proyecto	Cierta resistencia a los cambios
Impuestas internamente por el equipo	Impuestas externamente
Proceso menos controlado, con pocos principios	Proceso muy controlado con numerosas politicas/normas
Grupos pequeños (<10 integrantes) trabajando en el mismo sitio	Grupos grandes y distribuidos
Pocos roles	Mas roles

Špundak, (2014) realiza un estudio detallado entre diferentes definiciones y conceptos de autores entre 1989 y 2011 para determinar la posibilidad de tener metodologías mixtas ágil/tradicional para la gestión de proyectos, presentando la gestión de proyectos tradicional como el hecho de finalizar el proyecto dentro de tiempo, presupuesto y alcance determinado, priorizando la planificación detallada desde el inicio del proyecto; así mismo presenta la gestión de proyectos ágil como la ejecución del proyecto por encima de todos los demás factores, enfocada a los proyectos de desarrollo de software. De su estudio concluye que, ambas metodologías presentan ventajas como desventajas y que la selección de la metodología debe realizarse dependiendo de las características del proyecto y del entorno organizacional, que, aunque es posible combinar ambos enfoques metodológicos dentro de una misma metodología es importante que esta se adapte al proyecto y no viceversa. Es por esto que, teniendo en cuenta que los proyectos seleccionados cumplen características específicas y la cultura organizacional de la empresa donde se tiene como objetivo principal finalizar el proyecto dentro del tiempo, presupuesto y alcance se determinó que, la metodología producto del trabajo de grado debía ser con el enfoque tradicional, buscando que la empresa constructora sobre la que se hizo el estudio, cumpla con ese objetivo principal que según el resultado de los proyectos evaluados no ha podido cumplir dentro del tiempo y presupuesto estipulado.

Para determinar cuál de los marcos metodológicos de tipo tradicional se debía escoger, se estudió lo planteado por González et al., (2012) en la metodología integral y dinámica aplicada a la programación de control de proyectos, así como el amplio análisis de la dinámica de sistemas realizado por Sandino, (2014) en el diseño de una estrategia de control integral aplicada al proceso de construcción, también se exploraron los casos de éxitos presentados por Thamhain H., (1998) quien realizó una investigación para evaluar el uso y popularidad de diferentes métodos de gestión de proyectos, llevó a cabo encuestas a más de 400 profesionales entre directores y gerentes de 180 proyectos que ejecutaban empresas Fortune-1000, en esta cuantifico que la metodología presentada en el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017) era usado en más del 41% de los proyectos evaluados. Así mismo se estudió Chen et al., (2016) donde detalla cómo se ha llegado un amplio consenso a nivel mundial entre investigadores y profesionales, así como la existencia de un gran número de investigaciones publicadas respecto a las extensiones y aplicaciones del valor ganado detallada en el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017) como la principal herramienta dentro del grupo de

indicadores de control para la gestión de proyectos, por encima de los otros marcos metodológicos existentes. Habiendo determinado como tendencia general el uso del método de valor ganado detallado en el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017), se estudia el trabajo realizado por Abril Jaramillo, D., (2019) en el cual analiza detalladamente el Lean Project Management (LPM) y su metodología de Lean Construction, así como la que según su investigación se considera la más usada en la gestión de proyectos a nivel mundial, el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, PRINCE2 y finalmente la norma ISO21500, considerando esta última como el símil directo del PMBOK, determino que al ser PRINCE2 y la ISO21500 marcos metodológicos con raíces en el PMBOK, lo más relevante era realizar una comparación más detallada entre Lean y el PMBOK obteniendo así la tabla 16.

Tabla 16.

Comparativo metodológico entre Lean Construction y PMBOK

Fuente: Felipe et al., (2019)

COMPARATIVO MARCOS METODOLOGICOS		
ASPECTOS	LEAN CONSTRUCTION	PMBOK
Objetivos de la gestión del proyecto	Valor, tal y como lo percibe el cliente	Calidad, plazo, coste dentro del alcance establecido.
Adecuación de los procesos de gestión	Las labores a realizar son pull por la creación de valor	Relevancia de los procesos en función del tipo de proyectos
Tiempos	Reducción de plazos al evitar tareas innecesarias o reducir los requisitos de las mismas a lo estrictamente necesario	Planificación temporal completa. Métodos de ruta crítica
Riesgos	Tomar las decisiones lo más tarde posible, gestionar los riesgos más relevantes	Gestión proactiva
Recursos	No desperdiciar el talento, empoderar al personal	Asegurar la disponibilidad de recursos
Aprovisionamiento / Ejecución	Cadena de valor, pensamiento de ciclo de vida, green project management	Gestión de compras/contratación

Decidiendo así con esta tabla que dadas las acciones, disposiciones y cultura organizacional de la empresa constructora sobre la cual se realiza el estudio, que es el marco metodológico del PMBOK la que puede tener un mayor porcentaje de adaptación, más facilidad de implementación y a su vez posibilidad de éxito.

Con la definición de lo que sería el marco metodológico del PMBOK la base para los indicadores clave, se buscó estudiar el éxito del método de valor ganado teniendo que, en las diferentes investigaciones mencionadas por Chen et al., (2016) se encuentra que Anbari F.T.,

(2003) presentó herramientas gráficas con las cuales evaluar las tendencias de desempeño del proyecto según los principales aspectos del valor ganado, presentando simplificaciones útiles para aplicar de forma efectiva el método, se tuvo en consideración un antes y un después del método de valor ganado mediante Bryde et al., (2018) quienes expusieron un análisis sobre los problemas que se presentaban antes del desarrollo del método de valor ganado al no tener un método que permitiera unificar los criterios de éxito de un proyecto en tiempo y costo, así mismo indica porque los indicadores de control existentes previo el desarrollo del valor ganado no eran completamente útiles al no existir unificación de criterios de tiempo y costo, los autores detallaron cómo el método del valor ganado permitió realizar análisis cuantitativos unificados de ambos criterios de éxito para diferentes tipos de proyectos, también es relevante como Vanhoucke et al., (2015) realizaron una revisión y evaluación de los métodos basados en valor ganado para pronosticar la duración total de un proyecto y como con los datos del alcance del proyecto, entrega programada y el presupuesto total del proyecto logran presentar un extenso estudio de simulaciones para presentar resultados precisos y confiables.

Con el estudio de los diferentes artículos académicos en relación, se realizó un estudio de casos relacionados con la implementación de la metodología de valor ganado, encontrando así que Burgos, J., (2013) aplicó el método del valor ganado a un proyecto de construcción de un coliseo en el municipio de Guasca (Cundinamarca-Colombia), en esta observó como la constructora tiene falencias en el registro de información para la generación de indicadores, a pesar del desconocimiento del método y la desconfianza en el mismo se pudo demostrar la utilidad de este mediante gráficas y resultados numéricos que permitieron al director de obra tomar decisiones para enfocar sus esfuerzos en mitigar los mayores costos y retrasos que se obtuvieron como resultado de la implementación del método de valor ganado. En complemento también se examinó que Sanabria, L., (2018) llevo a cabo la implementación del método de valor ganado para un proyecto de construcción en sistema industrializado en el cual se analizaron las actividades de mayor peso en el presupuesto ya que la autora considera no es posible realizar un análisis a la totalidad de las actividades, en el mismo concluyo que la aplicación del método permitió desde el primer día de ejecución conocer los eventuales mayores costos y atrasos con lo que se tomaron decisiones preventivas especialmente en la recuperación de tiempo para disminuir el plazo final de ejecución. Y finalmente el estudio de casos de implementación del método de valor ganado concluyo con Diaz, L., (2014) realizó el seguimiento e implementación del método de valor ganado a un proyecto

de urbanización en el cual pudo concluir que, con el adecuado seguimiento y aplicación de los indicadores del método, es posible prever los diferentes problemas en la gestión de costos como en la gestión de tiempos y realizar la fijación de costos máximos para cada actividad con una alta precisión. Sruthi & Aravindan, (2020) efectuó una medición del rendimiento de cronograma y costos mediante el valor ganado y el uso del software primavera con lo que concluye que los indicadores de desempeño y pronóstico del método de valor ganado son esenciales para realizar el diagnóstico y la toma de decisiones.

Con base en el análisis bibliográfico realizado, y en cumplimiento del segundo objetivo específico de este trabajo de grado, se confirma la decisión de emplear los indicadores de control del método de valor ganado, tal como se detalla en el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute (2017). Estos indicadores serán aplicados a las actividades críticas relacionadas en la tabla 14, utilizando sus tres variables de evaluación: **Valor Planificado (Planned Value – PV)**, que corresponde al valor presupuestado y aprobado para la realización de la actividad; **Costo Real (Actual Cost – AC)**, que refleja el costo incurrido en la ejecución de la actividad durante un período específico; y **Valor Ganado (Earned Value – EV)**, que representa la cantidad de trabajo efectivamente realizado, expresado en términos económicos según el presupuesto autorizado para la actividad. A partir de estas variables principales, se derivan los indicadores y métricas para evaluar el desempeño de cada actividad

- **Variación de cronograma (Schedule Variance – SV):** Este indicador corresponde a la medida del desempeño del cronograma y se puede calcular mediante la ecuación 10.
- **Índice de desempeño de cronograma (Schedule Performance Index – SPI):** Este indicador corresponde a la medida de eficiencia del cronograma y se puede calcular mediante la ecuación 11.
- **Variación de costo (Cost Variance – CV):** Este indicador corresponde al monto de mayor costo o menor costo en una etapa del proyecto o actividad y se puede calcular mediante la ecuación 12.
- **Índice de desempeño de costo (Cost Performance Index – CPI):** Este indicador corresponde a la medida de eficiencia en función de los costos de los recursos presupuestados para la actividad y se puede calcular mediante la ecuación 13.

- **Estimado al completar (Estimate at Completion – EAC):** Este indicador corresponde a la estimación del costo final para completar toda la actividad evaluada y se puede calcular mediante la ecuación 14.

3.3. Definición de actividades clave.

Con los indicadores de control seleccionados, se procedió a identificar los propósitos del proceso, en este caso de la actividad clave, identificar las variables de evaluación, concretar el objetivo del indicador, clasificar el indicador y fijar la meta, reconociendo el comportamiento y permitiendo la observación del valor medio, varianza y desviación estándar, y determinar las condiciones mínimas, medias y máximas de variación. Se presenta a continuación una descripción detallada del alcance y la unidad de medida para pago de las actividades críticas de la tabla 14 sobre las cuales se realizará el seguimiento mediante indicadores clave.

- **Mesón de cocina en quartzone incluye barra y salpicadero alto:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es el metro lineal (ML) y esta actividad consiste en el suministro e instalación de mesón de cocina en quartzone con un ancho de 0.6 m y salpicadero de 0.1 m de altura, suministro e instalación de barra de cocina en quartzone con un ancho de 0.4 m y salpicadero en el lateral contra la pared. Ninguno de los dos elementos incluye estructuras de soporte. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como resinas, pegantes, trasiegos de material, fraguado, detallado, limpieza, seguridad social del personal.
- **Piso cerámico:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es el metro cuadrado (M2) y esta actividad consiste en el suministro e instalación de cerámica de primera calidad en formatos máximo de 60x60 para piso, en el valor unitario no se incluye la ejecución de sustratos o reparación de los mismos sobre los cuales se instala la cerámica. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como adhesivos para cerámica, crucetas, fragua, trasiegos, de material, detallado, limpieza, seguridad social del personal.
- **Ascensor para torre:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es unidad (Und) y esta actividad consiste en el suministro e instalación de ascensor para torre entre 13 y 15 paradas incluidos los sótanos. En el valor unitario están incluidos todos

los costos en los que se incurrirá para completar la actividad, no está incluido el enchape del piso del ascensor.

- **Malla electrosoldada losas y muros sistemas industrializado:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es el kilogramo (Kg) y esta actividad consiste en el suministro e instalación de malla electrosoldada de 60,000 PSI. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como alambre para amarre de malla, equipo para trabajo en alturas, trasiegos de material, limpieza, cursos de alturas y seguridad social del personal.
- **Muros estructurales de concreto e=0.10:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es el metro cuadrado (M2) y esta actividad consiste en la fundición de muros en concreto estructural de 0.10 m. En el valor unitario no está incluida la formaleta. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como desmoldante, concreto premezclado, mano de obra de fundición, vibrado, alquiler de autobomba y equipos necesarios para la fundición, equipo para trabajo en alturas, trasiegos de material, limpieza, cursos de alturas y seguridad social del personal.
- **Acometida eléctrica para apartamentos:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es la unidad (Und) y esta actividad consiste en suministro e instalación de tubería, alambre, aparatos, cajas, soportería. En el valor unitario no se incluye luminarias, electrodomésticos o redes de comunicación. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como trasiegos de material, limpieza y pruebas.
- **Sistema de apantallamiento:** La unidad de medida de esta actividad en los proyectos evaluados es por global (Glb) y esta actividad consiste en el suministro e instalación de cada elemento necesario para el sistema de apantallamiento de la torre. En el valor unitario están incluidos todos los costos en los que se incurrirá para concluir a satisfacción la actividad tales como equipo para trabajo en alturas, trasiegos de material, limpieza, cursos de alturas y seguridad social del personal.

3.4. Cálculo de variables para proyectos seleccionados

Con los indicadores seleccionados en el apéndice anterior, se procedió a calcular cada uno de ellos para las actividades críticas presentadas en la tabla 14.

De la tabla 17 se observó que los indicadores seleccionados no presentaban información que pueda ser utilizada para determinar la meta, la desviación, la varianza y el valor medio del indicador, debido a que la información con la cual se calculan corresponde a la etapa final de la actividad o sea cuando su ejecución es del 100%. Se efectuó la exploración y reconocimiento de información contenida en el repositorio de la empresa constructora correspondiente al proceso de ejecución de los proyectos y se evidencia la carencia de esta, en los archivos existentes no se encontró historia que permitiera determinar el comportamiento de los proyectos y por ende de las actividades claves y con ello generar medidas de seguimiento y control. Esta práctica le representó a la empresa que entre 2014 y 2022, 9 de los 10 proyectos estuvieran en promedio un 7.24% por encima del valor presupuestado, teniendo que disminuir el valor de las utilidades estimadas para cubrir este mayor costo de ejecución, evidenciándose así que la constructora requiere una metodología de control que le permita mitigar estos mayores costos que atentan directamente contra la utilidad de esta, entendiéndose con todo lo anterior que se requiere realizar un ejercicio que permita hacer seguimiento y retroalimentación a futuros proyectos por medio de los indicadores planteados y estos deben ser calculados durante la ejecución de la obra. La metodología propuesta y resultado de este trabajo de grado, esta enfocada a aplicarse sobre las actividades clave halladas en los apartados anteriores, sin embargo en cualquier constructora se puede realizar un desarrollo que permita identificar las actividades sobre las cuales deben enfatizar los esfuerzos o sea las actividades clave para los proyectos de cada constructora y proceder con la aplicación de la metodología propuesta ya que la misma no esta limitada a unas actividades específicas.

Tabla 17.

Resultado cálculo de indicadores proyectos seleccionados.

DESCRIPCIÓN	Proyecto	PV	AC - EV	SV=EV-PV	SPI=EV/PV	CV=EV-AC	CPI=EV/AC	EAC=PV/CPI	% DESVIACIÓN
Meson cocina en quartztone incluye barra y salpicadero alto	Proyecto 1	\$ 375,836,480	\$ 268,407,538	-\$ 107,428,942	0.71	-	1.00	375,836,480	28.6%
	Proyecto 2	\$ 233,185,539	\$ 143,139,489	-\$ 90,046,050	0.61	-	1.00	233,185,539	38.6%
	Proyecto 5	\$ 102,540,558	\$ 75,000,000	-\$ 27,540,558	0.73	-	1.00	102,540,558	26.9%
Piso ceramica	Proyecto 3	\$ 651,378,564	\$ 613,638,123	-\$ 37,740,441	0.94	-	1.00	651,378,564	5.8%
	Proyecto 4	\$ 266,713,582	\$ 250,491,704	-\$ 16,221,877	0.94	-	1.00	266,713,582	6.1%
	Proyecto 5	\$ 155,675,169	\$ 13,383,109	-\$ 142,292,061	0.09	-	1.00	155,675,169	91.4%
Ascensor para torre	Proyecto 2	\$ 334,180,991	\$ 360,372,480	\$ 26,191,489	1.08	-	1.00	334,180,991	-7.8%
	Proyecto 3	\$ 356,000,000	\$ 369,381,792	\$ 13,381,792	1.04	-	1.00	356,000,000	-3.8%
	Proyecto 4	\$ 180,186,240	\$ 192,899,102	\$ 12,712,862	1.07	-	1.00	180,186,240	-7.1%
	Proyecto 5	\$ 75,361,255	\$ 96,554,734	\$ 21,193,479	1.28	-	1.00	75,361,255	-28.1%
Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado	Proyecto 4	\$ 244,156,423	\$ 364,893,643	\$ 120,737,219	1.49	-	1.00	244,156,423	-49.5%
	Proyecto 5	\$ 92,974,988	\$ 260,442,134	\$ 167,467,146	2.80	-	1.00	92,974,988	-180.1%
muros estructurales de concreto e=0.10	Proyecto 1	\$ 16,691,722	\$ 29,664,237	\$ 12,972,514	1.78	-	1.00	16,691,722	-77.7%
	Proyecto 2	\$ 1,553,531,349	\$ 1,588,082,262	\$ 34,550,912	1.02	-	1.00	1,553,531,349	-2.2%
	Proyecto 4	\$ 360,053,514	\$ 442,441,333	\$ 82,387,819	1.23	-	1.00	360,053,514	-22.9%
	Proyecto 5	\$ 440,475,602	\$ 608,365,784	\$ 167,890,182	1.38	-	1.00	440,475,602	-38.1%
Acometida electrica para apartamentos	Proyecto 4	\$ 0	\$ 32,889,220	\$ 32,889,220	Indeterminado	-	1.00	0	Indeterminado
	Proyecto 5	\$ 0	\$ 41,427,395	\$ 41,427,395	Indeterminado	-	1.00	0	Indeterminado
Sistema de Apantallamiento	Proyecto 3	\$ 57,251,585	\$ 80,689,894	\$ 23,438,309	1.41	-	1.00	57,251,585	-40.9%
	Proyecto 4	\$ 0	\$ 20,874,024	\$ 20,874,024	Indeterminado	-	1.00	0	Indeterminado

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

El ciclo de vida de un proyecto consta de diferentes fases, según el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017) estas se pueden clasificar en la fase de viabilidad que es en la cual se determina si el negocio es viable, fase de diseño en la cual se debe planificar y analizar el diseño del proyecto que se ejecutara, fase de ejecución en la que de forma ordenada siguiendo un cronograma y un presupuesto se logra materializar el proyecto, fase de despliegue que es cuando el proyecto se pone en uso, se completan actividades que permitan el sostenimiento de este y la fase de cierre en la cual se cierra el proyecto, se concluyen contratos y se archivan los documentos correspondientes a este.

El marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017) reza que el propósito de la planificación es desarrollar de manera habilidosa el enfoque sobre el cual se trabajara cada uno de los entregables que requiere el proyecto, la dedicación, esfuerzo, tiempo y recursos que se inviertan a esta, dependerá exclusivamente de cada proyecto y estará determinado por las circunstancias que rodeen este. La información obtenida de la fase de planificación deberá ser necesaria para que la ejecución del proyecto pueda transcurrir de manera apropiada, pero sin ser más detallada de lo que el mismo pueda requerir, la fase de planificación puede darse incluso desde la etapa de viabilidad del proyecto e incluso hasta parte de la etapa de ejecución de este. De la fase de planificación debe haber unos entregables mínimos tales como cronograma, diseños, presupuesto, composición y estructura del equipo que ejecutara el proyecto, canales de comunicación, recursos físicos, plan de adquisiciones y control de cambios.

Como se ilustra en la figura 10, para asegurar una fase de ejecución y un posterior monitoreo y control adecuados, la constructora deberá comenzar con la elaboración del acta de constitución o acta de inicio del proyecto. Este documento autoriza formalmente al director del proyecto a utilizar los recursos de la compañía para llevarlo a cabo y constituye el primer paso en el desarrollo del plan de dirección del proyecto. Una vez elaborado el acta de constitución, se deberá desarrollar el plan de gestión del proyecto, que incluirá sub-planes específicos para la gestión del alcance, costo, tiempo y riesgos. Además, es esencial estandarizar la forma en que se gestionará el conocimiento del proyecto, con el objetivo de alcanzar sus metas y contribuir al aprendizaje organizacional.

Figura 10:

Entradas, herramientas y salidas en el desarrollo para la dirección del proyecto

Autor: PMBOK (2017)



Habiendo hallado las actividades clave en las cuales se deben enfocar los esfuerzos para el análisis y seguimiento en proyectos de construcción de edificaciones residenciales y teniendo claridad sobre los indicadores que se deben utilizar, se desarrolla el levantamiento del proceso actual que maneja la constructora en estudio de cada actividad y se encuentra detallada en el anexo 31. Una vez se conoce cada proceso, sus componentes e involucrados, se desarrolla un diagrama de proceso estándar según la necesidad de obra en la figura 10.

Como se muestra en la figura 11, la contratación y compra desempeñan un papel crucial dentro del proceso de cada actividad clave. Por lo tanto, dando alcance al tercer objetivo específico y al objetivo general planteado para el trabajo de grado, en la metodología propuesta, es fundamental incluir no solo la gestión del cronograma y la gestión de costo si no también la gestión de adquisiciones que hacen parte del grupo de proceso de Monitoreo y Control, tal y como resume la figura 12 respecto a los procesos para monitoreo y control del marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017)

Figura 11:

Proceso estándar según necesidad de obra

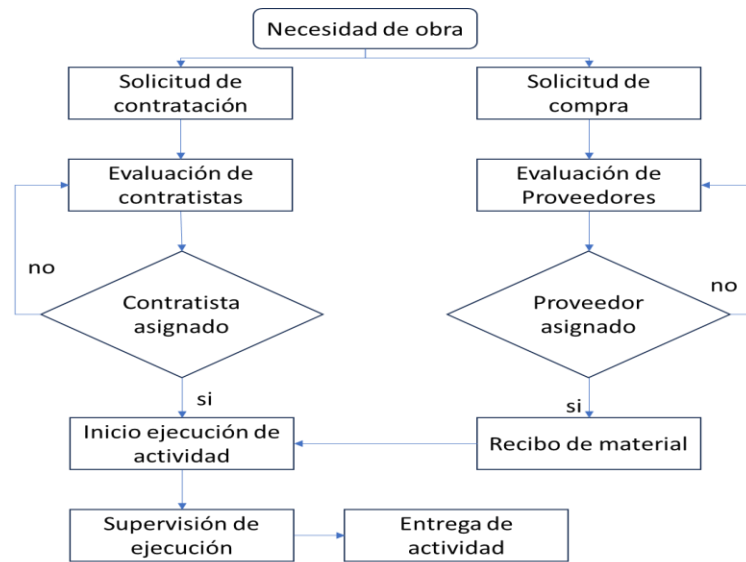
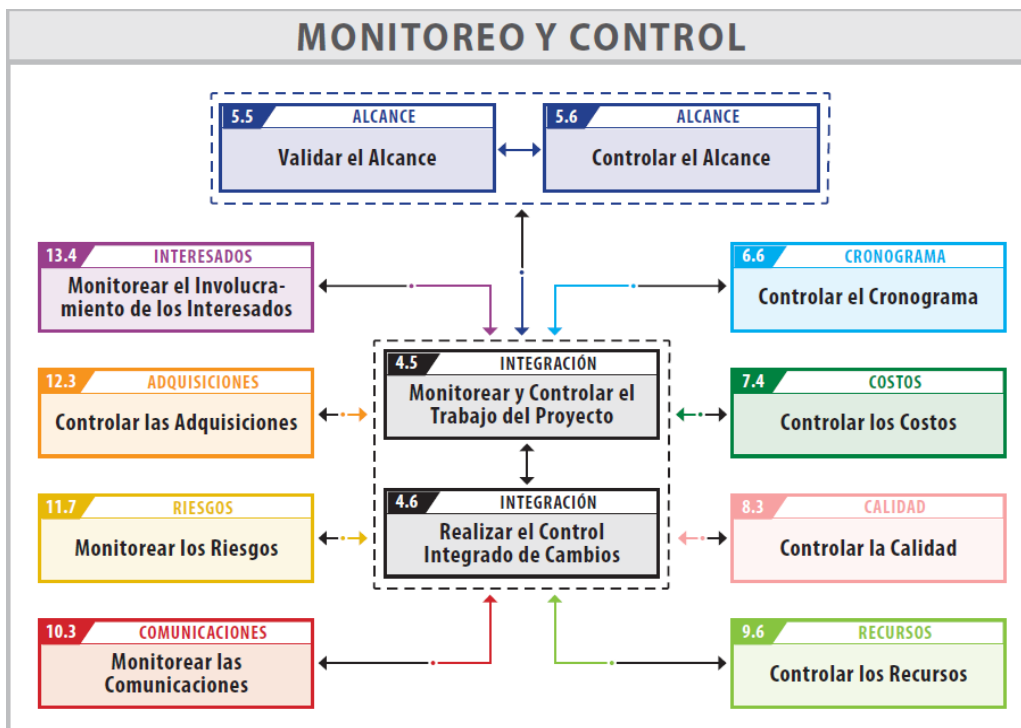


Figura 12:

Resumen de flujo de procesos en monitoreo y control del PMBOK (2017)

Fuente: //ricardo-vargas.com



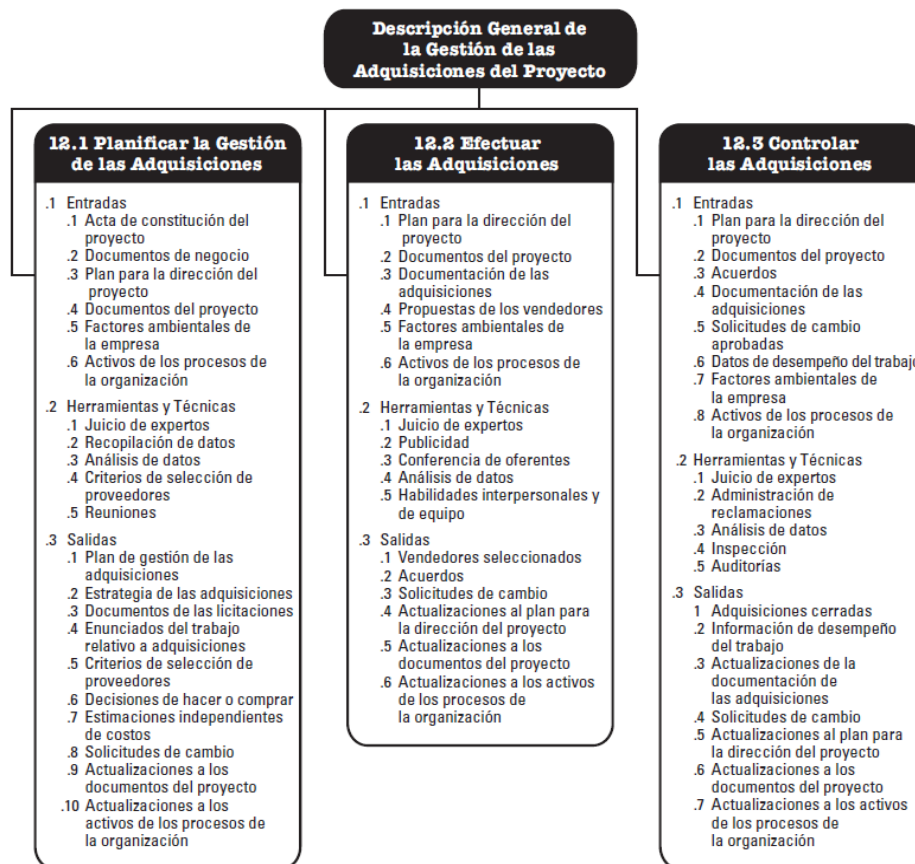
4.1. Gestión de adquisiciones

La gestión de adquisiciones incluirá cada proceso que pueda requerirse para la adquisición de productos o servicios y que sea necesario obtener externamente al equipo del proyecto, así mismo incluye procesos de gestión, control y administración de acuerdos comerciales como órdenes de compra o contratos según corresponda. El personal con autorización para realizar los acuerdos comerciales necesarios para el proyecto puede ir desde la gerencia de la constructora hasta directores de departamento de compras, contratación y obra como lo resume la figura 13.

Figura 13:

Descripción general de gestión de adquisiciones de proyectos

Autor: PMBOK (2017)



1. Para las actividades en estudio y según lo muestran los diagramas de proceso los insumos que necesitan para su ejecución deberán ser comprados o adquiridos mediante contratación

y se deberán registrar en el formato 1. Las adquisiciones se dividirán en tres grupos con montos de autorización.

Formato 1.

Planificación de adquisiciones (Anexo 32)

NOMBRE DEL PROYECTO		Fecha
CODIGO DEL PROYECTO		Versión
DIRECTOR DEL PROYECTO		Elaborado por
FECHA DE ELABORACIÓN		
PROPOSITO DEL PLAN DE GESTION DE LAS ADQUISICIONES DEL PROYECTO		
¿Cuál es el objetivo de este documento?		
AUTORIDAD PARA LAS ADQUISICIONES		
ROLES Y RESPONSABILIDADES		
	DIRECTOR DEL PROYECTO	DEPARTAMENTO DE ADQUISICIONES
1.		1.
2.		2.
3.		3.
4.		4.
5.		5.
DOCUMENTOS ESTÁNDARES PARA LAS ADQUISICIONES		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
PROCEDIMIENTOS ESTÁNDARES PARA LAS ADQUISICIONES		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
TIPOS DE CONTRATO		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
REQUERIMIENTOS DE SEGUROS		
CRITERIOS DE SELECCIÓN		
	CRITERIO	PONDERACIÓN
		%
		%
		%
		%
		%
		100%
SUPUESTOS PARA LAS ADQUISICIONES		
RESTRICCIONES PARA LAS ADQUISICIONES		
REQUERIMIENTOS DE INTEGRACIÓN		
EDT		
CRONOGRAMA		
DOCUMENTACIÓN		
RIESGOS		
REPORTES DE DESEMPEÑO		
METRICAS DE DESEMPEÑO		
	AREA O DOMINIO	MEDICION DE LA METRICA
CONTROL Y AUDITORIAS DE LAS ADQUISICIONES		
CIERRE DE LAS ADQUISICIONES		
APROBACIÓN		
	NOMBRE	CARGO
		FIRMA
		FECHA

Compras de menor cuantía: Compras con valores inferiores a 38 salarios mínimos legal mensual vigente (COP), realizadas por la dirección de obra y aprobadas por la dirección de compras, se utiliza herramienta ERP de uso institucional de la constructora, cotizaciones y órdenes de compra.

Compras de mayor cuantía: Compras que superen los 38 salarios mínimos legal mensual vigente (COP), realizadas por la dirección de compras y la aprobación de la gerencia administrativa, se utiliza herramienta ERP de uso institucional de la constructora en base a cotizaciones y órdenes de compra.

Contratación directa: Proceso encabezado por la Dirección de contrataciones, se realizará invitación a contratistas o empresas aptas para participar en el proceso de contratación, se utilizarán pliegos tipo de licitación, recepción de propuestas, elaboración de cuadros comparativos, selección de la oferta más adecuada, negociación directa de la gerencia administrativa.

- Las adquisiciones de productos y servicios se realizarán llevando el flujo establecido en la figura 14 y la figura 15, tanto para compras como para contrataciones respectivamente, se deberá contar con un mínimo de 3 cotizaciones, y deberán cumplir los criterios de selección que sean establecidos por la gerencia de la constructora en estudio y de acuerdo con el plan de adquisiciones.

Figura 14:

Flujo para adquisición en compras

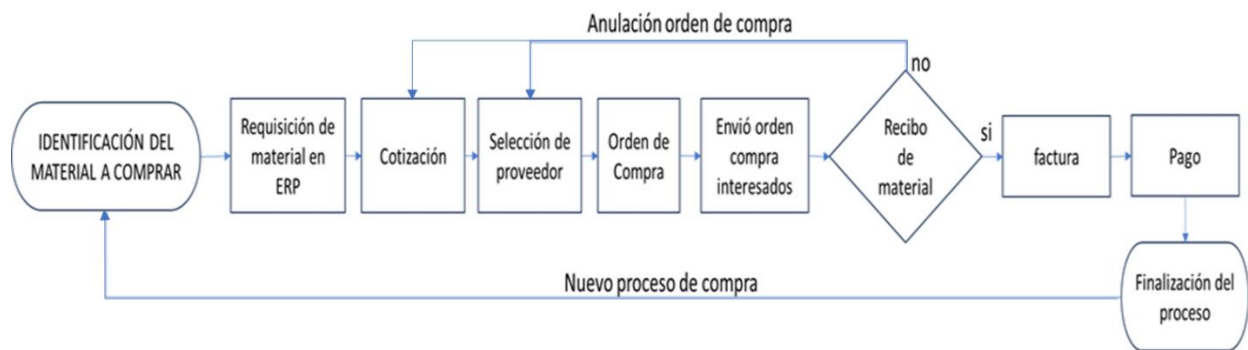
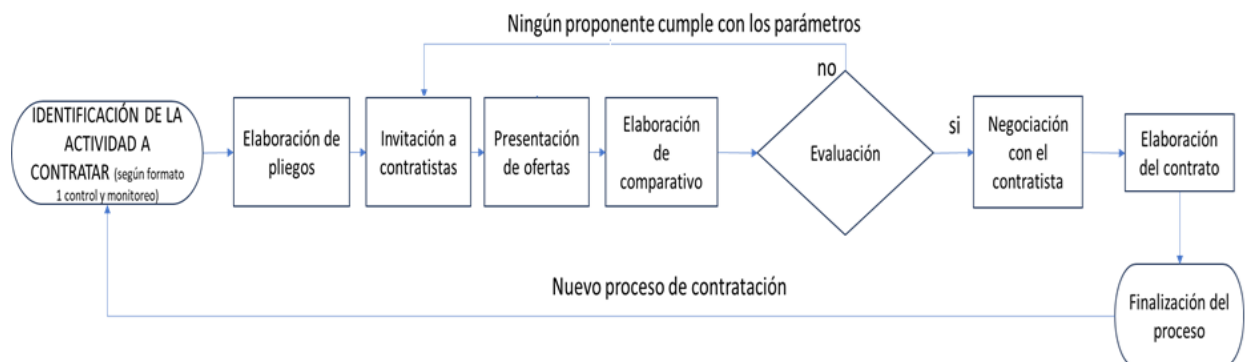


Figura 15:

Flujo para adquisición en contratos



3. Para controlar las adquisiciones, se propuso el formato 2 en el cual se debe diligenciar la actividad o material (contrato o compra) que se debe realizar, posteriormente la fecha en la cual se requerirá iniciar la actividad, diligenciar los días de fabricación, los días en elaborar el contrato u orden de compra, los días en realizar un análisis de precios y los días que requiere solicitar la cotización, el formato hace una regresión y pone una fecha límite para culminar cada paso mencionado. Así mismo en la sección derecha se tiene una lista de comprobación de cada paso que se debe completar y quien será el responsable de completarlo.

Formato 2.

Control de gestión de contratación y compras (Anexo 33)

CONTROL DE GESTIÓN DE CONTRATACIÓN O COMPRAS										23/04/2024											
										V1.1											
										001-002											
FECHA:					CONSECUTIVO:																
PROYECTO:					DIRECTOR:					INTERVENTOR:					PERIODO:						
ACTIVIDAD	FECHA INICIO ACTIVIDAD	TIEMPO DE FABRICACION		ELABORACION CONTRATO		COMPARATIVO Y SELECCIÓN		SOLICITUD DE COTIZACIÓN		COTIZACION		CUADRO COMPARATIVO		NEGOCIACION		MINUTA				POLIZAS	
		DIAS	FECHA	DIAS	FECHA	DIAS	FECHA	DIAS	FECHA	SOLICITUD	RESPONSABLE	ELABORACION	RESPONSABLE	NEGOCIACION	RESPONSABLE	ELABORACION MINUTA	FIRMA CONTRATISTA	FIRMA CONSTRUCTORA	RESPONSABLE	EXPEDICION POLIZAS	RESPONSABLE
Mesón de cocina en quartzone incluye barra y salpicadero alto																					
Piso en cerámica																					
Ascensor para torre																					
Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado																					
Muros estructurales en concreto																					
Acometida eléctrica para apartamentos																					
Sistema de apantallamiento																					

Ya que el formato 2 es una herramienta enfocada a la gestión de tiempo previa a la actividad, en el formato 3 se propone una herramienta que permita la gestión de precios para la compra y la contratación previa a la ejecución de la actividad. En este formato se deben diligenciar los datos básicos como la fecha de presentación de la oferta, el proyecto al cual pertenece, el responsable de evaluar las ofertas, descripción breve de que se contratara o comprara, consecutivo interno si existe, así como nombre, teléfono y correo electrónico de cada oferente. Debe diligenciar ítem, actividad o material que se requiere, unidad de medida, cantidad y valor unitario presupuestado, así como la cantidad real a contratar o comprar en caso de que difiera de la cantidad de presupuesto. En las ofertas económicas debe ingresar el valor unitario cotizado antes de AIU o antes de IVA y en la parte de abajo digitar el IVA pleno que corresponda o el AIU desglosado. Finalmente, en la parte final inferior del cuadro se encontrará el resumen de las ofertas, condiciones de

pago, plazo de entrega y análisis de las ofertas económicas respecto el presupuesto. Con esta herramienta es posible que cada decisión que se tome para comprar o contratar se analice detalladamente respecto al impacto que tendrá en el presupuesto del proyecto a desarrollar.

Formato 3.

Control de precios para contratación y compras (Anexo 34)

EVALUACIÓN DE OFERTAS DE CONTRATOS O COMPRAS										23/04/2024								
										001-003								
Fecha:										Fecha Cierre								
Proyecto:										Invitación								
Solicitante:	Tipo Contrato			Suministro			Mano Obra <input checked="" type="checkbox"/>			Todo Costo:								
Capítulo:	Ofertante #			1			2			3								
Descripción:	Nombre			OFERENTE 1			OFERENTE 2			OFERENTE 3								
Consecutivo:	Teléfono																	
	E-mail																	
										OPTIMO								
ÍTEM	INFORMACIÓN DE VALORES Y CANTIDADES PRESUPUESTADAS					CANTIDAD A CONTRATAR	OFERENTE #1			OFERENTE #2			OFERENTE #3			OPTIMO		
	ACTIVIDAD	UN	CANTIDAD	V. UNIT	VR. TOTAL		V. UNIT	UNIT+AIU+IVA	VR. TOTAL	V. UNIT	UNIT+AIU+IVA	VR. TOTAL	V. UNIT	UNIT+AIU+IVA	VR. TOTAL	UNIT+AIU+IVA	VR. TOTAL	
	Mesón de cocina en quartzzone incluye barra y salpicadero alto																	
	Piso en cerámica																	
	Ascensor para torre																	
	Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado																	
	Muros estructurales en concreto																	
	Acometida eléctrica para apartamentos																	
	Sistema de apantallamiento																	
OBSERVACIONES:																		
TOTAL DISPONIBLE							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
IVA PLENO							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
Administración							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
Imprevistos							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
Utilidad							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
IVA							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
Costos Indirectos							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
TOTAL OFERTA							\$		\$		\$		\$		\$		\$	
DECISIONES TOMADAS										RESUMEN DE OFERTAS								
										1		2		3		OPTIMO		
Proveedor No																		
VALOR TOTAL																		
Forma de Pago:																		
Plazo de Entrega:																		
Propuesta/presupuesto										0%		0%		0%		0%		
DIFERENCIA CON PRESUPUESTO																		

En las compras realizadas el encargado de la recepción del material que será el almacenista deberá verificar los cumplimientos de entrega, las especificaciones de acuerdo con el plan y cronograma, las cantidades, el estado e informar conformidades o inconformidades.

- Se debe realizar una evaluación semanal al proveedor y calificarlo para ser o no tenido en futuras adquisiciones mediante el formato 4 que cuenta con un sistema de ponderación y calificación según fue determinado en la Constructora de estudio.

Formato 4.

Evaluación de proveedores (Anexo 35)

EVALUACION PROVEEDOR	

PROVEEDOR	
-----------	--

SEMANA	
FECHA INICIO	

CRITERIO	PORCENTAJE TOTAL	EVALUACION PROVEEDOR	PUNTAJE CRITERIO	CALIFICACION
CUMPLIMIENTO	30%	PROGRAMACIÓN SEMANAL > 80%	10	3.00
ESTABILIDAD DE PRECIOS	40%	6 MESES	10	4.00
CALIDAD	30%	0 OBSERV	10	3.00

100%	EVALUACION SEMANAL	10.00
------	--------------------	-------

CUMPLIMIENTO	ESTABILIDAD DE PRECIOS	CALIDAD	PUNTAJE
PROGRAMACIÓN SEMANAL > 80%	6 MESES	0 OBSERV	10
70% < PROGRAMACIÓN SEMANAL < 80%	3 MESES	2 OBSERV	5
PROGRAMACIÓN SEMANAL < 70%	MENOS DE UN MES	MAS DE 2 OBSERV	0

5. En el caso de control a los contratistas también se deberá evaluar y calificar mediante el formato 5, al igual que para los proveedores, cuenta con un sistema de ponderación y calificación determinado en la Constructora de estudio.

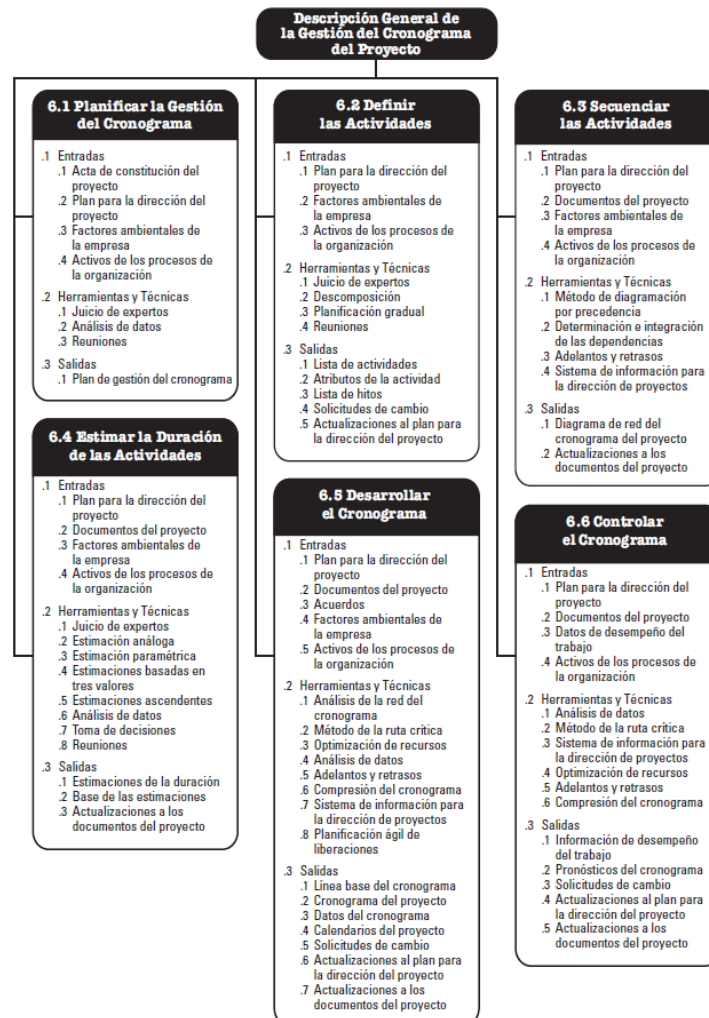
4.2. Gestión del cronograma

Como esta desglosado en la figura 16, la gestión del cronograma incluirá cada proceso que se requiera para la administración de los tiempos de ejecución de las actividades del proyecto, tales como gestión del cronograma, definición de actividades a seguir, secuenciación de actividades, estimación de duración de actividades, desarrollo del cronograma y el respectivo control a este, garantizando que el proyecto pueda ser concluido en el tiempo estipulado.

Figura 2:

Descripción general de gestión de cronograma de proyectos

Autor: PMBOK (2017)



Dado que el objetivo de este trabajo de grado establece actividades consideradas críticas en el proceso, estas se presentan en la Tabla 14. El orden de las actividades en dicha tabla no refleja el orden de ejecución ni implica una relación de precedencia entre ellas. Las duraciones deberán

determinarse en función de la cantidad, condiciones específicas, plan de trabajo y factores externos relacionados con las adquisiciones al momento de la ejecución del proyecto.

1. Utilizando el Formato 7, se deberán establecer los criterios, pasos y documentos que servirán como guía para la gestión del cronograma a lo largo del proyecto. Este proceso se realiza una sola vez o en momentos específicos previamente definidos.

Formato 7.

Planificación del cronograma (Anexo 38)

NOMBRE DEL PROYECTO		Fecha
CODIGO DEL PROYECTO		Versión
DIRECTOR DEL PROYECTO		Elaborado por
FECHA DE ELABORACIÓN		
PROPOSITO DEL PLAN DE GESTIÓN DEL CRONOGRAMA DEL PROYECTO		
¿Cuál es el objetivo de este documento?		
METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA		
HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DEL CRONOGRAMA		
NIVEL DE EXACTITUD	UNIDADES DE MEDIDA	UMBRALES DE LAS VARIANZAS
REPORTE Y FORMATO DEL CRONOGRAMA		
PROCESOS DE GESTIÓN DEL CRONOGRAMA		
Identificación de las actividades		
Secuenciación de las actividades		
Estimación de los recursos		
Estimación de esfuerzos y duraciones		
Actualización monitoreo y control del cronograma		
APROBACIÓN		
NOMBRE	CARGO	FIRMA
		FECHA

2. Desarrollo del cronograma. El proceso comienza con la definición de las actividades necesarias para llevar a cabo los entregables del proyecto. Es fundamental descomponer los paquetes de trabajo en unidades controlables que faciliten la estimación, programación, ejecución y monitoreo. A continuación, se procede a la secuenciación de actividades, identificando la relación y secuencia lógica entre ellas para lograr la máxima eficiencia en la ejecución, considerando todas las posibles restricciones del proyecto. Posteriormente, se realiza la estimación de la duración de las actividades, basada en los recursos previstos para su ejecución. Finalmente, se estructura el cronograma de obra al analizar la secuencia

de actividades, duraciones, recursos disponibles y restricciones, generando así una programación adecuada para la ejecución del proyecto.

3. Verificación del avance. Considerando que la constructora en estudio debe actualizar su base de datos, y de acuerdo con el marco metodológico del PMBOK del Project Management Institute, (2017) una mayor frecuencia en la recolección de información puede reducir la incertidumbre. Sin embargo, es igualmente importante identificar cuando la recolección excesiva de datos deja de ser beneficiosa. Con el fin de detectar retrasos y desviaciones, se ha establecido que la recolección de datos se realice una vez por semana, preferiblemente al finalizar la semana laboral, el sábado.
4. Asignación de responsabilidades. Se designará un responsable para la medición del avance semanal, quien trabajará en conjunto con el residente de la interventoría. El porcentaje de avance de cada actividad deberá ser registrado siguiendo el formato 8.

Formato 8.

Medición avance de obra actividades clave (Anexo 39)

NOMBRE DEL PROYECTO		Fecha		
CODIGO DEL PROYECTO		Versión		
DIRECTOR DEL PROYECTO		Elaborado por		
FECHA DE ELABORACIÓN				
Actividad	UM	Cant. contratada	Cant. ejecutada	% de avance
Meson de cocina en quartzone incluye barra y salpicadero alto				0%
Piso en ceramica				0%
Ascensor para torre			50% Suministro 40% Instalado 10% Certificado	0%
Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado				0%
Muros estructurales en concreto				0%
Acometida electrica para apartamentos				0%
Sistema de apantallamiento				0%
NOMBRE		CARGO	FIRMA	FECHA

5. Análisis de variación. Con base a la medición del rendimiento, se deberá realizar un análisis de variación comparando las fechas del cronograma objetivo con las fechas reales o pronosticadas de inicio o finalización. De acuerdo al marco metodológico PMBOK del Project Management Institute, (2017), se recomienda usar un diagrama de barras

comparativo que muestre dos barras para cada actividad clave: una para el estado real y otra para el estado de la línea base aprobada del cronograma.

6. Registro de actualizaciones. Tras realizar las mediciones y el seguimiento del cronograma, es fundamental documentar las actualizaciones correspondientes, incluyendo los cambios aprobados y planes de acción correctiva, si son necesarios. Estos cambios deberán documentarse en el formato 9.

Formato 9.

Control de cambios (Anexo 40)

NOMBRE DEL PROYECTO		Fecha	
CODIGO DEL PROYECTO		Versión	
DIRECTOR DEL PROYECTO		Elaborado por	
FECHA DE ELABORACIÓN			
SOLICITANTE			
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD DE CAMBIO			
DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS NECESARIOS			
MOTIVO DEL CAMBIO			
DOCUMENTOS DE RESPALDO Y JUSTIFICACIÓN	Enumerar todos los documentos adjuntos que respaldan el cambio y justifiquen cualquier aumento del cronograma		
ESPECIFICACIONES			
INFORMACIÓN ADICIONAL			
CAMBIO EN LOS TIEMPOS DEL CRONOGRAMA			
PLAZOS ORIGINALES		CAMBIOS NETOS DE PEDIDOS DE CAMBIOS ANTERIORES	
AUMENTO / REDUCCION NETOS		PLAZO TOTAL DE LA ACTIVIDAD CON LOS CAMBIOS APROBADOS	
CAMBIO TOTAL EN LA PROGRAMACIÓN DE OBRA			
PLANES DE ACCIÓN CORRECTIVA			
APROBACIÓN			
<hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> NOMBRE CARGO FIRMA FECHA </div>			

4.3. Gestión de costos

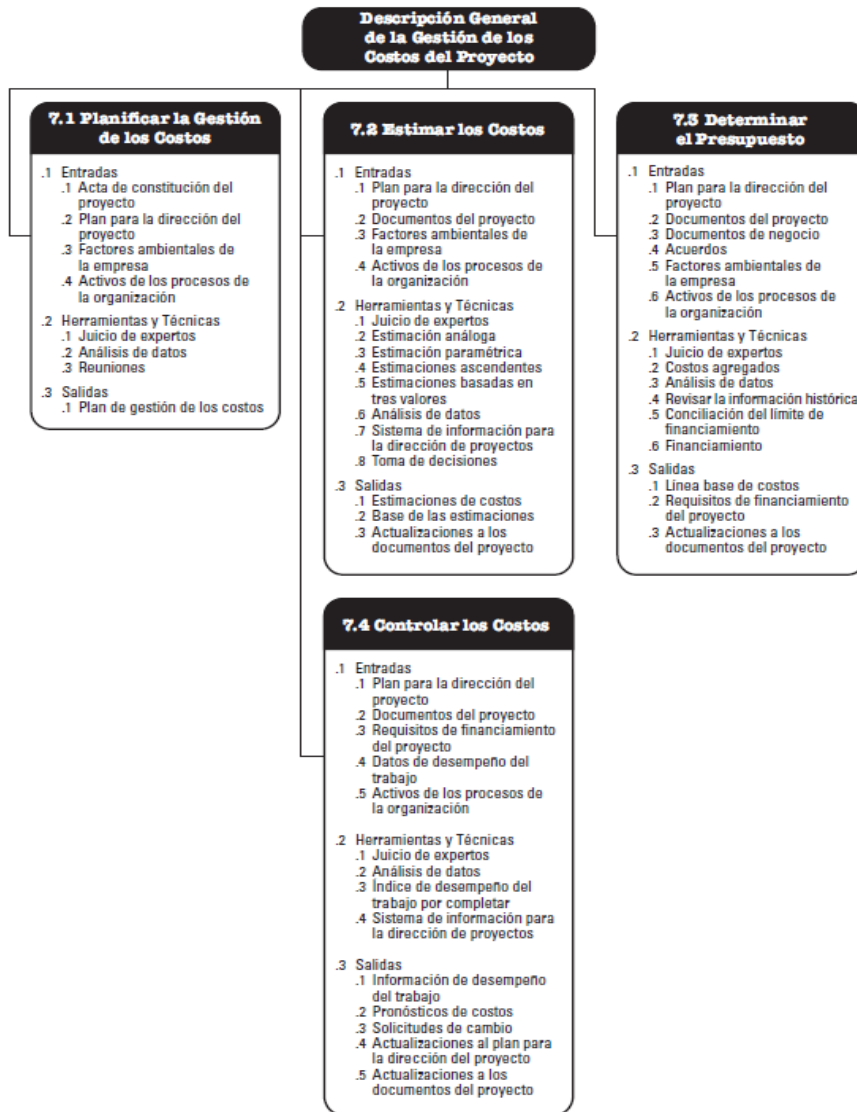
La figura 17 identifica cada elemento de la gestión de costos, esta incluye cada proceso que conlleva el planificar, calcular, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar todos los costos asociados a la ejecución del proyecto y que este pueda ser ejecutado dentro del presupuesto inicialmente concebido, algunos de los procesos que el marco metodológico

del PMBOK considera es el planificar la gestión de costos, estimar los costos, determinar el presupuesto y controlar los costos.

Figura 3:

Descripción general de gestión de costos del proyecto

Autor: PMBOK (2017)



1. Planificación de la gestión de costos. El formato 10 proporciona los elementos necesarios para desarrollar una planificación efectiva de la gestión de costos. Con una adecuada guía y control de los costos del proyecto, se podrá asegurar que el proyecto se complete dentro del presupuesto inicialmente previsto.

Formato 10.

Planificación de costos (Anexo 41)

NOMBRE DEL PROYECTO		Fecha	
CODIGO DEL PROYECTO		Versión	
DIRECTOR DEL PROYECTO		Elaborado por	
FECHA DE ELABORACIÓN			
PROPOSITO DEL PLAN DE GESTIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO			
¿Cuál es el objetivo de este documento?			
HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DEL COSTO			
NIVEL DE EXACTITUD	UNIDADES DE MEDIDA	UMBRALES DE CONTROL	
REGLAS PARA LA MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO			
INFORMES DE COSTOS Y FORMATOS			
GESTION DE LOS PROCESOS DE COSTOS			
Estimación de los costos			
Desarrollo del presupuesto			
Actualización monitoreo y control del presupuesto			
APROBACIÓN			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA

2. Estimación de costos. Se debe realizar una estimación de costos como parte del análisis cuantitativo del valor aproximado de los recursos requeridos para completar cada actividad del proyecto. Se deben considerar diversas alternativas de costos, dependiendo del equilibrio entre costos y riesgos. La estimación se llevará a cabo de forma predictiva, utilizando la información disponible en la fase de prefactibilidad del proyecto.
3. Composición del presupuesto final. El presupuesto final para ejecutar el proyecto incluirá la estimación de costos para cada actividad, los montos de contingencia determinados según la matriz de riesgos, las cantidades de trabajo a ejecutar por actividad y condiciones de financiación del proyecto.
4. Control de actividades clave mediante el método del valor ganado. Como se planteó en el objetivo 2, se empleará el método del valor ganado para el control de las actividades clave. Una vez obtenidos los avances del control de cronograma se procede a evaluar el porcentaje ejecutado frente al porcentaje programado, con el objetivo de analizar y determinar los indicadores de cada actividad. Esto permitirá generar alertas tempranas

para la dirección de obra y enfocar los esfuerzos en las actividades que lo requieran. Cada sábado se debe revisar con el cronograma de obra para evaluar el valor planeado, determinar el costo real de cada actividad (incluyendo materiales, equipos, mano de obra, transportes y otros costos asociados), y calcular el valor ganado para esa actividad. Esta información deberá registrarse en las columnas con encabezados verdes y azules del formato 11.

5. Cálculo de indicadores de desempeño. Con los valores previamente determinados, se procede a calcular los siguientes indicadores: la variación de cronograma (SV) utilizando la ecuación 10, el índice de desempeño del cronograma (SPI) según la ecuación 11, la variación del costo (CV) conforme la ecuación 12, el índice de desempeño de costo (CPI) de acuerdo con la ecuación 13 y el estimado a completar (EAC) según lo establece la ecuación 14.

Formato 11.

Avance y seguimiento de obra con cálculo de indicadores de gestión de costos (Anexo 42)

AVANCE E INDICADORES DE SEGUIMIENTO										V 1.1	
										001-001	
PROYECTO		ETAPA		DIRECTOR:			FECHA ELABORACION:				
		PLAZO		INTERVENTOR:			FECHA CORTE:				
		PRESUPUESTO C.D.		PERIODO EVALUADO							
FLUJO PLANEADO			AVANCE Y VALOR		VALOR PLANEADO E INDICADORES					CALIFICACION	
Actividad	% Avance	Valor Planeado (VP)	% Avance	Acta Avance (EV)	Variacion del Costo (CV)	Variacion del cronograma (SV)	Indice Eficiencia Costo (CPI)	Indice Eficiencia Cronograma (SPI)	Costo Final Estimado (EAC)	Costo	Tiempo
Meson de cocina en quartzone incluye barra y salpicadero alto				\$ -							
Piso en ceramica				\$ -							
Ascensor para torre				\$ -							
Malla electrosoldada losas y muros sistema industrializado				\$ -							
Muros estructurales en concreto				\$ -							
Acometida electrica para apartamentos				\$ -							
Sistema de apantallamiento				\$ -							

6. Análisis e interpretación de resultados. Con los valores obtenidos, se debe proceder al análisis e interpretación de los indicadores teniendo como referencia los posibles resultados de la tabla 18 de la siguiente manera:

- Variación del Cronograma (CV):

- Si $SV = 0$ entonces la actividad está dentro del cronograma.
- Si $SV > 0$ entonces la actividad esta adelantada respecto al cronograma.
- Si $SV < 0$ entonces la actividad esta atrasada respecto al cronograma.

Este indicador puede expresarse como un porcentaje dividiendo el resultado obtenido entre el valor planeado.

- Índice de Desempeño del Cronograma (SPI):

- Si $SPI=1$, la actividad está dentro del cronograma.
- si $SPI > 1$, la actividad esta adelantada respecto al cronograma.
- Si $SPI < 1$, la actividad esta atrasada respecto al cronograma.

- Variación del Costo (CV):

- Si $CV = 0$, la actividad está dentro del presupuesto.
- Si $CV > 0$, la actividad es más económica de lo presupuestado.
- Si $CV < 0$, la actividad es más costosa que lo presupuestado.

Este indicador puede expresarse como un porcentaje dividiendo el resultado obtenido entre el valor ganado.

- Índice de Desempeño del Costo (CPI):

- Si $CPI = 1$, la actividad está dentro del presupuesto.
- Si $CPI > 1$, la actividad es más económica que lo presupuestado.
- Si $CPI < 1$, la actividad es más costosa que lo presupuestado.

- Estimado a Completar (EAC): Este indicador proporciona una estimación del costo total que tendrá la actividad si el comportamiento actual continúa.

Tabla 18.

Posibles resultados para los indicadores planteados.

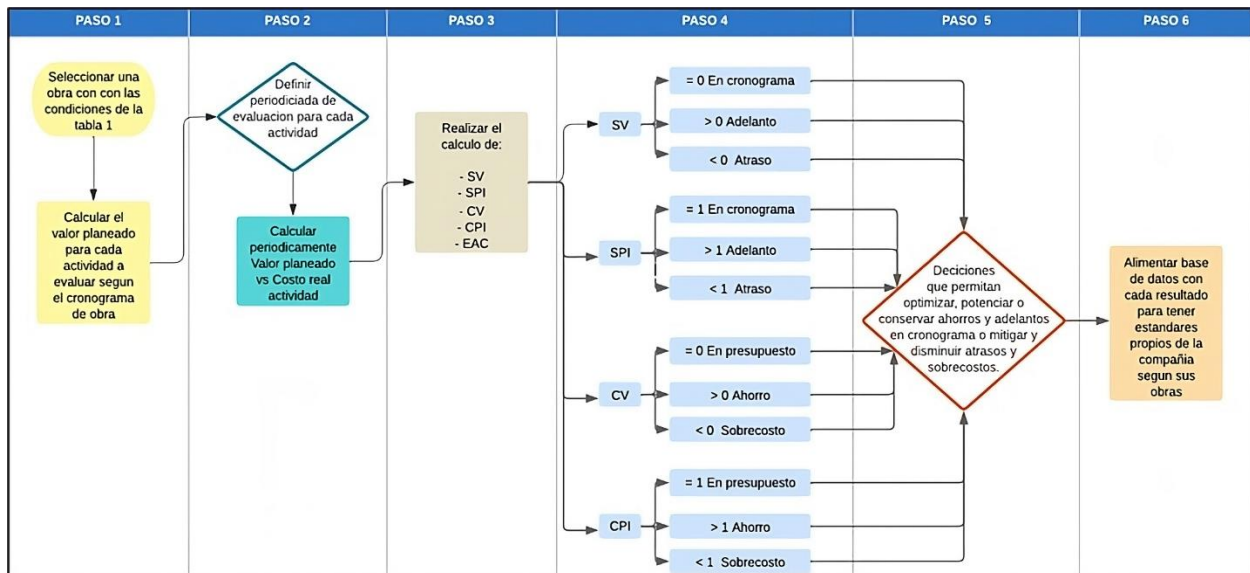
INDICADOR	RESULTADO		
Variación de cronograma (SV)	SV<0	SV=0	SV>0
Índice de desempeño del cronograma (SPI)	SPI<1	SPI=1	SPI>1
Variación de costo (CV)	CV<0	CV=0	CV>0
Variación de cronograma (CPI)	CPI<1	SPI=1	CPI>1

7. Evaluación de los resultados y toma de decisiones. A continuación, se deben evaluar los resultados obtenidos junto con la dirección de obra para tomar decisiones que permitan optimizar, aprovechar o mantener los menores costos y adelantos en el cronograma. Asimismo, es crucial identificar y mitigar los atrasos y mayores costos detectados. Además, se debe iniciar la construcción de una base de datos con los resultados de cada proyecto, con el fin de establecer criterios de aceptación, márgenes tolerables para cada indicador, así como analizar su varianza y desviación estándar.

La figura 18 muestra en resume el diagrama de flujo para la gestión de costos.

Figura 18.

Diagrama de flujo metodología propuesta



Para asegurar un cierre adecuado del proyecto se deben realizar las siguientes acciones

- Balance de las ordenes de cambio
- Ajuste del presupuesto planificado según las órdenes de cambio aprobadas.
- Registro del costo final ejecutado.
- Cálculo de costo por metro cuadrado (m²).
- Comparación entre la fecha de entrega estimada y fecha de entrega real, con un análisis de los costos adicionales por una mayor permanencia de obra en caso de incumplimiento del plazo estimado.
- Elaboración de manuales.
- Entrega a la copropiedad de los equipos básicos del proyecto en funcionamiento.
- Documentación de las lecciones aprendidas del proyecto

En caso de requerirse un análisis más detallado en un segmento que no haya sido abarcado en la metodología producto del trabajo de grado, se sugiere remitirse a las recomendaciones del marco metodológico PMBOK del Project Management Institute, (2017).

4.4. Guía de aplicación metodológica

Para la aplicación de la metodología producto del trabajo de grado se recomienda.

- Paso 1: Realizar un plan de adquisiciones usando el formato 1 y un responsable en la etapa constructiva para realizar el control de estas adquisiciones.
- Paso 2: Elaborar un presupuesto detallado y ajustado usando como apoyo el formato 10, el presupuesto debe elaborarse según la realidad y alcance del proyecto, encargado en el proyecto para el control de costos según los indicadores determinados y los resultados esperados para esta gestión de costos.
- Paso 3: Desarrollar un cronograma claro y detallado apoyándose en el formato 7 y que contenga las actividades a ejecutar durante la etapa constructiva según el alcance del proyecto y determinar el encargado en el proyecto que realizara el control del cronograma.
- Paso 4: Desarrollar el control de adquisiciones deberá realizarse usando el formato 2 para controlar la gestión de compras y contratos, teniendo como objetivo la fecha de inicio de la actividad a gestionar, así mismo cuando debería iniciar cada proceso de compra o contratación según los tiempos para cada actividad, también responsable de cada paso hasta tener los recursos negociados, con pólizas, anticipos y listos para iniciar la ejecución.

- Paso 5: Ejecutar la solicitud de ofertas económicas según las actividades a desarrollar estipuladas en el paso 2, con las ofertas económicas llevar a cabo la evaluación económica de ofertas usando el formato 3, seleccionar el oferente que técnica y económicamente sea el mas apropiado para ejecutar la actividad en el proyecto de análisis.
- Paso 6: Llevar a cabo la planificación intermedia y la planificación semanal.
- Paso 7: Ejecutar el cálculo del avance de actividades semanal con el formato 8, habiendo calculado el % de avance ejecutado se procede a realizar la evaluación del % ejecutado vs el % programado con el fin de analizar y determinar cuáles son los indicadores que presenta cada actividad y así retroalimentar con alertas tempranas a la dirección de obra y enfocar los esfuerzos en las actividades que así lo requieran. Por tanto, cada sábado se debe evaluar con el cronograma de obra cual es el valor planeado, se debe determinar cuál es el costo real de esta actividad según los materiales, equipos, mano de obra, transportes y cada costo que la componga, así como el valor ganado para esa actividad. Esta información debe ser consignada en las columnas de encabezado verde y azul del formato 11.
- Paso 8: Habiendo determinado los valores del paso 7, se procede con el cálculo de la variación de cronograma (SV) como indica la ecuación 3, índice de desempeño del cronograma (SPI) como indica la ecuación 4, la variación del costo (CV) como indica la ecuación 5, índice de desempeño de costo (CPI) como lo indica la ecuación 6 y el estimado a completar (EAC) como indica la ecuación 7.
- Paso 9: Con los resultados del paso 8 se debe realizar el análisis e interpretación de los resultados para cada uno de los indicadores de la siguiente forma.
 - o Para el indicador de variación de cronograma, si $SV=0$ entonces la actividad está dentro del cronograma, si $SV>0$ entonces la actividad esta adelantada respecto al cronograma y si $SV<0$ entonces la actividad esta atrasada respecto al cronograma. Este puede ser calculado de manera porcentual dividiendo el resultado obtenido entre el valor planeado.
 - o Para el índice de desempeño del cronograma, si $SPI=1$ entonces la actividad está dentro del cronograma, si $SPI>1$ entonces la actividad esta adelantada respecto al cronograma y si $SPI<1$ entonces la actividad esta atrasada respecto al cronograma.

- Para el indicador de variación del costo, si $CV=0$ entonces la actividad está dentro del presupuesto, si $CV>0$ entonces la actividad es más económica que lo presupuestado y si $CV<0$ entonces la actividad es más costosa que lo presupuestado. Este puede ser calculado de manera porcentual dividiendo el resultado obtenido entre el valor ganado.
 - Para el índice de desempeño del costo, si $CPI=1$ entonces la actividad está dentro del presupuesto, si $CPI>1$ entonces la actividad es más económica que lo presupuestado y si $CPI<1$ entonces la actividad es más costosa que lo presupuestado.
 - EAC es un estimado del que será el costo real de la actividad de continuar con el comportamiento actual.
- Paso 10: Llevar a cabo reuniones y toma de decisiones con la dirección de obra para tomar medidas de acción según los resultados de la gestión de adquisiciones, cronograma y costos que permitan culminar el proyecto dentro de las estimaciones iniciales.
 - Paso 11: Llevar a cabo la evaluación de proveedores usando el formato 4 y de contratistas usando el formato 5.

El compilado de la Metodología propuesta se encuentra en el Anexo 43.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El propósito de este apartado es presentar una relación directa entre la problemática encontrada en la constructora de estudio y las soluciones propuestas mediante la metodología desarrollada como resultado del trabajo de grado.

Hasta la fecha en que se inició este trabajo de grado, la constructora de estudio enfrentaba sobrecostos aproximados entre el 5% y el 18% del presupuesto destinado a costos directos, como resultado de esta necesidad se incluye en la metodología propuesta el control de precios para contratación y compras mediante el formato 3, un elemento clave en la gestión de adquisiciones que permitirá tomar las mejores decisiones económicas al momento de seleccionar proveedores conociendo los precios de mercado en el momento de la cotización.

La metodología propuesta de igual manera incluye la gestión de costos, compuesta por la planificación de costos mediante el formato 10, este permitirá tener claridad detallada ante cada alternativa contemplada y propuesta para la ejecución de las actividades a ejecutar mediante la fase de construcción del proyecto, permitiendo a los miembros del equipo ejecutor un análisis cuantitativo al momento de la toma de decisiones según el estado del proyecto a la fecha de inicio de la actividad. Incluye el avance y seguimiento mediante el formato 11 que incluye los indicadores de gestión de costos, así como su respectiva interpretación, esta herramienta podrá generar alertas tempranas y cuantitativas del estado en tiempo y costo para cada actividad clave, permitiendo evaluar y tomar decisiones claves que den como resultado la ejecución de la etapa de construcción dentro del tiempo y en el costo estimado.

Es de vital importancia recalcar que de los datos de la tabla 3 y tabla 4, se concluye que aproximadamente entre el 30% y el 50% de los sobrecostos presentados en la etapa de construcción se deben a la mayor permanencia en obra, indicando esto que, al mitigar los retrasos en la etapa de construcción, se mitigaran de forma directa los sobrecostos del proyecto.

De igual forma hasta la fecha en que se inició este trabajo de grado, la constructora de estudio sufría retrasos aproximados entre el 25% y el 84% del plazo inicial contemplado para la ejecución de la etapa constructiva, que casi llegaban a duplicar la duración originalmente prevista para los proyectos, buscando mitigar estos retrasos que impactan directamente en el costo directo del proyecto, la metodología propuesta contempla la gestión de adquisiciones que se compone por el

formato 1 como planificación de adquisiciones, teniendo como objetivo tener los materiales y contrataciones en los plazos previstos en el cronograma inicial de obra, contempla los flujos para adquisiciones mediante la figura 14 y figura 15 identificando cada uno de los pasos necesarios según corresponda. Con el formato 2 se incluye un control de gestión de contratación y compras en el cual se lleva amplia la planificación de adquisiciones de manera detallada, teniendo cada una de las actividades o materiales que se requieren, el tiempo y el responsable de llevarlo a cabo cada paso del proceso. El formato 4 y formato 5 hacen parte de la gestión de adquisiciones para la evaluación de los proveedores y contratistas, esto permitirá la toma de decisiones respecto a la continuidad de los mismos mediante una calificación cuantitativa con parámetros de cumplimiento, calidad, precio, manejo de recursos, orden y seguridad industrial, dejando así en la base de datos de la constructora los mejores proveedores que el mercado pueda ofrecer, los cuales serán fundamentales al momento de cumplir los compromisos de tiempo y presupuesto en la etapa constructiva del proyecto.

La metodología propuesta también contempla la gestión de cronograma que se compone por el formato 7 como planificación del cronograma, teniendo como objetivo un cronograma claro, ejecutable, creado con el criterio de expertos en ejecución de obra, contempla la medición de avance de obra para actividades clave mediante el formato 8, con el cual se podrá realizar una comparación en tiempo real entre el avance programado y el avance real del proyecto para las actividades clave, finalmente como herramienta fundamental se incluye el control de cambios que sean realizados a la programación de obra mediante el formato 9, permitiendo tener clara la necesidad, la trazabilidad y el plan de acción frente a las necesidades de ajuste al cronograma de obra.

Todos los factores anteriormente mencionados estaban dando como resultado una disminución promedio de más del 5% las utilidades esperadas para cada proyecto, en los casos más críticos llegando a dejar margen de utilidad 0%.

Con lo anterior, un aporte significativo del trabajo de grado es la identificación de las actividades clave que la constructora debe monitorear en futuros proyectos, así como los indicadores y la metodología necesaria para evaluar dichas actividades. Al enfocar los esfuerzos de planificación, gestión y control en menos del 0.5% de las actividades presupuestadas, se espera anticipe la mitigación efectiva de los sobrecostos y una reducción en los tiempos de ejecución, lo

que a su vez mitigara la disminución de utilidades que se presenta actualmente en la mayoría de los proyectos a causa de los sobrecostos generados, lo anterior debido a que el trabajo de grado no pudo realizar las validaciones de lo propuesto y no se puede garantizar este resultado hasta no realizar la aplicación de la metodología propuesta.

En resumen, la metodología propuesta incluye:

- Proceso estándar adaptado a las necesidades específicas de la obra.
- Gestión de adquisiciones.
- Gestión de cronograma.
- Gestión de costos.
- Planificación de adquisiciones con su respectivo formato.
- Planificación de cronograma con su respectivo formato.
- Planificación de costos con su respectivo formato.
- Procedimiento para llevar a cabo las adquisiciones, acompañado de un diagrama explicativo.
- Apartado sobre desarrollo de cronograma y estimación de costos.
- Control de adquisiciones con los formatos correspondientes.
- Control de cronograma con su respectivo formato.
- Control de gestión de costos con sus formatos y análisis de los indicadores determinados en el segundo objetivo específico del trabajo de grado.
- Plan de aplicación para la guía metodológica.

Es importante destacar que, para el éxito de cualquier proyecto, se debe contar con un sistema de gestión de información y que forme parte del repositorio de la constructora, facilitando el acceso de los interesados a dicha información. El historial de los proyectos ejecutados permitirá tomar las decisiones informadas, identificar las oportunidades, optimizar procesos y mantenerse competitiva.

Así mismo, como se mencionó detalladamente, este trabajo de grado proporciona una metodología compuesta de herramientas desarrollados en base a los procesos descritos y detallados por el marco metodológico del PMBOK abarcando desde la planificación, desarrollo, control y gestión para las adquisiciones, hasta la gestión del cronograma y los costos del proyecto.

Finalmente, se entrega la metodología detallada para seleccionar las actividades críticas de mayor relevancia, sobre las cuales se debe realizar un análisis exhaustivo, permitiendo que este trabajo de grado sea la base para la creación de una guía metodológica aplicable a cualquier tipo de proyecto del cual se disponga de la información mínima requerida.

CONCLUSIONES

En el presente documento se cuenta con una clara justificación y necesidad de seguimiento y recopilación de información durante la ejecución de los proyectos de construcción. Las conclusiones del presente trabajo de grado reflejan la necesidad urgente de mejorar la gestión de proyectos de la constructora en estudio, la cual ha enfrentado sobrecostos promedio del 7.09% del presupuesto destinado a costos directos y retrasos significativos que han duplicado la duración originalmente prevista para los proyectos. Con las herramientas, formatos, procesos y plan de aplicación generados a partir de este trabajo, se espera el incremento en 5.0% las utilidades que están generando los proyectos actualmente lo que hace esta metodología totalmente viable.

El trabajo de grado ha logrado identificar las actividades clave en las cuales la constructora debe enfocar sus esfuerzos de monitoreo en futuros proyectos. Al reducir las actividades a menos del 0.5% del total de actividades presupuestadas que a su vez corresponden al 9% del valor total de los presupuestos evaluados y concentrar en estas la planificación, gestión y control, se espera mitigar efectivamente los sobrecostos y reducir los tiempos de ejecución, minimizando así la pérdida de utilidades. Así mismo ha evidenciado para la tipología de proyectos analizados que, el método del valor ganado es el enfoque más adecuado para la gestión de proyectos en tiempo y costo dentro del sector de la construcción. Tras un exhaustivo análisis, se ha concluido que los indicadores asociados al método del valor ganado son los que ofrecen mejores resultados en el seguimiento y control de proyectos.

La metodología propuesta en este estudio incluye una serie de herramientas y procesos integrales, diseñados específicamente para abordar las necesidades particulares de la gestión de adquisiciones, cronogramas y costos en proyectos de construcción. Estas herramientas no solo facilitan la planificación y el control eficiente de estos elementos, sino que también ofrecen formatos y procedimientos claros para la ejecución y seguimiento de las actividades claves, asegurando un enfoque estructurado y preciso en la gestión del proyecto. Esto a su vez, permite una evaluación, interpretación y diagnóstico efectivos basados en los resultados numéricos obtenidos, optimizando así la gestión global del proyecto.

Un punto clave destacado es la importancia de contar con un sistema de gestión de información integrado en el repositorio de la constructora, que permita a los interesados acceder a datos históricos de proyectos anteriores. Esto contribuirá a la toma de decisiones informadas, la

identificación de oportunidades, la optimización de procesos y el mantenimiento de la competitividad de la constructora.

En la revisión bibliográfica que se llevó a cabo durante la ejecución del trabajo de grado se encuentra una clara evidencia de que a pesar de que el valor ganado es una de las herramientas por excelencia para la gestión de proyectos y que hay diversos trabajos como propuesta de su implementación, aún existen constructoras en las que no ha sido posible realizar su implementación. En el periodo en que se desarrolló este trabajo de grado, se buscó implementar el método de valor ganado por parte de la gerencia técnica de la constructora de estudio, sin embargo se encontró una amplia desidia por parte de los profesionales al considerarlo mayor trabajo y al desconocer los beneficios que esta implementación podría con llevar, así mismo se notó que aplicar el método de valor ganado a todas las actividades del presupuesto, aunque es lo ideal termina siendo poco práctico, la falta de planificación tiene como resultado urgencias y cuando los profesionales están inmersos en constantes urgencias pierden de vista la capacidad de hacer un alto para la evaluación, retroalimentación y la toma de decisiones, por lo tanto el tener un numero reducido y preciso de actividades a controlar y evaluar permite concentrar esfuerzos de manera eficiente, optimizando el uso de recursos. Además, el tiempo requerido para aplicar la herramienta de valor ganado y la metodología propuesta es mínimo en comparación con los beneficios estimados previamente.

SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS DE GRADO

Se sugiere que un futuro trabajo de grado se enfoque en la implementación detallada de esta metodología, acompañada de la recopilación necesaria de la información y la generación de parámetros que permitan establecer alertas tempranas.

Se recomienda que futuros estudios exploren la integración del método del valor ganado con herramientas de inteligencia artificial y análisis predictivo. Esta combinación podría incrementar significativamente la precisión en el control de proyectos de construcción, facilitando la anticipación de riesgos y la optimización de recursos de manera más dinámica. Además, sería valioso investigar la adaptación de esta metodología a diferentes tipos de proyectos dentro del sector de la construcción, con el fin de desarrollar guías personalizadas que puedan aplicarse a contextos específicos, como infraestructura pública o desarrollos urbanos.

ANEXOS

En este capítulo se hará una descripción sobre cada uno de los anexos que componen el CD adjunto, esto dado que la verificación de cada tabla se considera más práctica en el archivo en Excel que en un medio físico debido a la amplia extensión de estas, que en un medio impreso quedarían ilegibles para el lector.

Anexo 1. Este anexo contiene la presentación del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3.

Anexo 2. Este anexo contiene el análisis de capítulos del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3.

Anexo 3. Este anexo contiene el análisis de las actividades del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3.

Anexo 4. Este anexo contiene el cronograma del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3

Anexo 5. Este anexo contiene la lista de actividades de la ruta crítica del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3.

Anexo 6. Este anexo contiene las actividades clave del proyecto 1 (proyecto D) de la tabla 3.

Anexo 7. Este anexo contiene la presentación del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3.

Anexo 8. Este anexo contiene el análisis de capítulos del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3.

Anexo 9. Este anexo contiene el análisis de las actividades del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3.

Anexo 10. Este anexo contiene el cronograma del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3

Anexo 11. Este anexo contiene la lista de actividades de la ruta crítica del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3.

Anexo 12. Este anexo contiene las actividades clave del proyecto 2 (proyecto E) de la tabla 3.

Anexo 13. Este anexo contiene la presentación del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3.

Anexo 14. Este anexo contiene el análisis de capítulos del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3.

Anexo 15. Este anexo contiene el análisis de las actividades del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3.

Anexo 16. Este anexo contiene el cronograma del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3

Anexo 17. Este anexo contiene la lista de actividades de la ruta crítica del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3.

Anexo 18. Este anexo contiene las actividades clave del proyecto 3 (proyecto F) de la tabla 3.

Anexo 19. Este anexo contiene la presentación del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3.

Anexo 20. Este anexo contiene el análisis de capítulos del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3.

Anexo 21. Este anexo contiene el análisis de las actividades del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3.

Anexo 22. Este anexo contiene el cronograma del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3

Anexo 23. Este anexo contiene la lista de actividades de la ruta crítica del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3.

Anexo 24. Este anexo contiene las actividades clave del proyecto 4 (proyecto G) de la tabla 3.

Anexo 25. Este anexo contiene la presentación del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3.

Anexo 26. Este anexo contiene el análisis de capítulos del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3.

Anexo 27. Este anexo contiene el análisis de las actividades del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3.

Anexo 28. Este anexo contiene el cronograma del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3

Anexo 29. Este anexo contiene la lista de actividades de la ruta crítica del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3.

Anexo 30. Este anexo contiene las actividades clave del proyecto 5 (proyecto H) de la tabla 3.

Anexo 31. Este anexo contiene el diagrama de procesos de las actividades clave

Anexo 32. Este anexo contiene el formato 1 planeación de adquisiciones

Anexo 33. Este anexo contiene el formato 2 control de gestión de contratación y compras

Anexo 34. Este anexo contiene el formato 3 control de precios para contratación y compras

Anexo 35. Este anexo contiene el formato 4 evaluación de proveedores

Anexo 36. Este anexo contiene el formato 5 evaluación de contratistas

Anexo 37. Este anexo contiene el formato 6 planificación intermedia

Anexo 38. Este anexo contiene el formato 7 planificación del cronograma

Anexo 39. Este anexo contiene el formato 8 medición avance de obra actividades clave

Anexo 40. Este anexo contiene el formato 9 control de cambios

Anexo 41. Este anexo contiene el formato 9 planificación de costos

Anexo 42. Este anexo contiene el formato 10 avance y seguimiento de obra con cálculo de indicadores de gestión de costos

Anexo 43: Este anexo contiene el compilado de la metodología propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abril Jaramillo, D. (2019). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, Máster Universitario en Organización Industrial y Gestión de Empresas, título: Análisis de la Metodología Lean Project Management*
- Adan, A., & Gomez, C. (2016). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona programa de doctorado en tesis presentada para obtener el grado académico de: doctor, título: sistema de control de proyectos*
- Ahmed, A. A. A., Hameed, M. A., Ashour, & Al-Dahhan, I. A. H. (2020). *Using modified earned value for cost control in construction projects. Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(1), 156–168. <https://doi.org/10.21533/PEN.V8I1.1103.G499>
- Anbari, F.T.,2003. *Earned value project management method and extensions. Proj. Manag.*J.34(4),12–23.
- Ambriz Avelar, R. (2008). *La gestión del valor ganado y su aplicación: Managing earned value and its application. https://www.pmi.org/learning/library/es-las-mejores-practicas-de-gestion-del-valor-ganado-7045*
- Bryde, D., Unterhitzenberger, C., & Joby, R. (2018). *Conditions of success for earned value analysis in projects. International Journal of Project Management*, 36(3), 474–484. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2017.12.002>
- Burgos, J., (2013). *Aplicación del método del valor ganado a un proyecto de construcción. Tesis en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes. Colombia.*
- Cámara Colombiana de la Construcción. (CAMACOL) (2020). *tendencias de la construcción decimonovena edición - Economía y Coyuntura Sectorial 19. 1–58.*
- Cámara Colombiana de la Construcción. (CAMACOL) (2023). *Informe de actividad edificadora.*
- Chan, A. P. C., & Chan, A. P. L. (2004). *Key performance indicators for measuring construction success. Benchmarking: An International Journal*, 11(2), 203–221. <https://doi.org/10.1108/14635770410532624>
- Chan, D. W. M., & Chan, J. H. L. (2012). *Developing a Performance Measurement Index (PMI) for Target Cost Contracts in Construction: A Delphi Study. Construction Law Journal (CLJ)*

(*Final Accepted Manuscript*), 28(8), 590–613.

- Chen, H. L., Chen, W. T., & Lin, Y. L. (2016). *Earned value project management: Improving the predictive power of planned value*. *International Journal of Project Management*, 34(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2015.09.008>
- Colin, J., & Vanhoucke, M. (2014). *Setting tolerance limits for statistical project control using earned value management*. *Omega (United Kingdom)*, 49, 107–122. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.06.001>
- Collopy, F. (1994). *Forecasting final cost and budget of construction projects*. *International Journal of Forecasting*, 10(3), 474–475. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0169-2070(94)90082-5)
- Czemplik, A. (2014). *Application of earned value method to progress control of construction projects*. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.087>
- de Carvalho, M. M., Patah, L. A., & de Souza Bido, D. (2015). *Project management and its effects on project success: Cross-country and cross-industry comparisons*. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1509–1522. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.04.004>
- De Carvalho, M. M., & Rabechini Junior, R. (2015). *Impact of risk management on project performance: The importance of soft skills*. *International Journal of Production Research*, 53(2), 321–340. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.919423>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). *Boletín Técnico*.
- Díaz, L., (2014). *Valoración de la aplicación del método del valor ganado en proyectos de urbanización. Tesis en Máster Interuniversitario en dirección de proyectos. Universidad de Oviedo*.
- Figueroa, M. (2001). *Gestión integrada de proyectos* (Universidad Politécnica de Cataluña (ed.); 1st ed.).
- Gonzalez, L. J., 'Kalenatic, D., & 'Moreno, V. (2012). *Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 62.
- Jha, K. N., & Iyer, K. C. (2007). *Commitment, coordination, competence and the iron triangle*.

International Journal of Project Management, 25(5), 527–540.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.009>

La oficina de proyectos de informática (25 de febrero de 2023). *7 indicadores de gestión de valor ganado en los proyectos*. <https://www.pmoinformatica.com/2017/01/indicadores-gestion-valor-ganado.html>

Ling, F. Y. Y. (2004). *How project managers can better control the performance of design-build projects*. *International Journal of Project Management*, 22(6), 477–488.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2003.09.003>

Ministerio de comercio, industria y turismo (MinCIT) (2019). *Informe de gestión Colombia productiva*.

Munns, A. K., & Bjeirmi, B. F. (1996). *The role of project management in achieving project success*. *International Journal of Project Management*, 14(2), 81–87.
[https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00057-7](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00057-7)

Naderpour, A., & Mofid, M. (2011). *Improving construction management of an educational center by applying Earned Value technique*. *Procedia Engineering*, 14, 1945–1952.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.244>

Palisade. (2016). *@RISK - Programa de complemento para el análisis y simulación de riesgos en Microsoft® Excel* (Vol. 7).

Papke-Shields, K. E., Beise, C., & Quan, J. (2010). *Do project managers practice what they preach, and does it matter to project success?* *International Journal of Project Management*, 28(7), 650–662. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.11.002>

Project Management Institute., & Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. (Sixth).

Ricardo Vargas (27 de mayo de 2024). <https://ricardo-vargas.com>

Sanabria, L., (2018). *Implementación de la metodología del valor ganado para el monitoreo y control de un proyecto de construcción de vivienda*. Tesis en Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

- Sandino, L. (2014). *Diseño de una estrategia de control integral aplicada a procesos de construcción*
- Sruthi, M. D., & Aravindan, A. (2020). *Performance measurement of schedule and cost analysis by using earned value management for a residential building. Materials Today: Proceedings, 33*, 524–532. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.05.210>
- Špundak, M. (2014). *Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion?*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences 119*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.105>
- Thamhain, H. J. (1998). *Integrating Project Management Tools with the Project Team. Long Beach: 29th Annual Project Management Institute Seminars & Symposium.*
- Vanhoucke, M., Colin, J., 2015. *On the use of multivariate regression methods for longest path calculations from earned value management observations. OMEGA Int.J. Manag.Sci.(inpress).*
- Vélez, G. A. (2013). *PROYECTOS, Identificación, formulación, evaluación y gerencia* (Alfaomega Colombina SA (ed.); 2 Edición).
- Votto, R., Lee Ho, L., & Berssaneti, F. (2020). *Multivariate control charts using earned value and earned duration management observations to monitor project performance. Computers and Industrial Engineering, 148*(September 2019), 106691. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106691>