



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

VINCULACIÓN Y POSGRADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA GESTIÓN DE COSTO Y TIEMPO
MEDIANTE EL MÉTODO DE RUTA CRÍTICA Y SIMULACIÓN DE MONTE
CARLO EN UN PROYECTO VIAL**

Trabajo de Titulación para optar al título de: Magister en Ingeniería Civil con
mención en Gestión de la Construcción

Autor:

Ing. Mónica Piedad Quispe Caiza

Tutor:

PhD. Jorge Luis Santamaría Carrera

Riobamba, Ecuador. 2025

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	NOMBRE DEL FORMATO		 SGC <small>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</small>
	CÓDIGO:	VERSIÓN:	
	FECHA:		
	MACROPROCESO: PROCESO: SUBPROCESO:		

Riobamba, 20 de febrero de 2025

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: **“Análisis comparativo en la gestión de costo y tiempo mediante el método de ruta crítica y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial”**, ha sido elaborado por la Ing. Mónica Piedad Quispe Caiza, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti plagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
JORGE LUIS
SANTAMARÍA CARRERA

PhD. Jorge Luis Santamaría Carrera

TUTOR

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	NOMBRE DEL FORMATO		 SGC <small>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</small>
	CÓDIGO:	VERSIÓN:	
	FECHA:		
	MACROPROCESO:		
PROCESO:			
SUBPROCESO:			

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SECIÓN DE DERECHOS

Yo, **Mónica Piedad Quispe Caiza**, con cédula de ciudadanía **160046036-2**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “Análisis comparativo en la gestión de costo y tiempo mediante el método de ruta crítica y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial”, previo a la obtención del grado de Magister en Ingeniería Civil, mención en Gestión de la Construcción.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de las Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.



Riobamba, 20 de febrero de 2025



MONICA PIEDAD
QUISPE CAIZA

Ing. Mónica Piedad Quispe Caiza

C.I: 160046036-2

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	NOMBRE DEL FORMATO		 SGC <small>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</small>
	CÓDIGO:	VERSIÓN:	
	FECHA:		
	MACROPROCESO:		
PROCESO:			
SUBPROCESO:			

Riobamba, 20 de febrero de 2025

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de miembros del Tribunal designados por la Comisión de Posgrado, CERTIFICAMOS que una vez revisado el Trabajo de titulación bajo la modalidad Proyecto de Investigación y/o desarrollo denominado "**ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA GESTIÓN DE COSTO Y TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO DE RUTA CRÍTICA Y SIMULACIÓN DE MONTE CARLO EN UN PROYECTO VIAL**", dentro de la línea de investigación de *Ingeniería, construcción, industria y producción* presentado por la maestrante **Mónica Piedad Quispe Caiza** portador de la CI. 160046036-2, del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción**, cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo lo que podemos certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



Firma asociada por:
JORGE LUIS SANTAMARÍA CARRERA

Jorge Santamaría

TUTOR



Firma asociada por:
MARCO MARCEL PAREDES HERRERA

Marcel Paredes


**MIEMBRO DEL
TRIBUNAL 1**



Firma asociada por:
LUIS ALEJANDRO VELASTEGUI CACERES

Luis Velastegui

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL
2**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	NOMBRE DEL FORMATO		 SGC <small>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</small>
	CÓDIGO:	VERSIÓN:	
	FECHA:		
	MACROPROCESO:		
PROCESO:			
SUBPROCESO:			

Riobamba, 20 de febrero de 2025

CERTIFICADO

De mi consideración:

Yo **Jorge Luis Santamaría Carrera**, certifico que **Mónica Piedad Quispe Caiza** con cédula de identidad No. **1600460362** estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción, cohorte segunda** presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de TESIS denominado: **ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA GESTIÓN DE COSTO Y TIEMPO MEDIANTE EL MÉTODO DE RUTA CRÍTICA Y SIMULACIÓN DE MONTECARLO EN UN PROYECTO VIAL**, el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATIO identificando el porcentaje (9%) en el texto.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



PhD. Jorge Luis Santamaría Carrera

Ci: 1709825606

Adj.-

- Resultado del análisis de similitud

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Delia y Segundo quienes siempre me dieron su apoyo, sus consejos, valores, motivación, por su cariño y amor para cumplir cada uno de mis sueños y metas propuestas.

A toda mi familia por el gran apoyo mutuo, que siempre nos brindamos en nuestra formación profesional y por su apoyo emocional.

Gracias a todos ellos por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres, que siempre han creído en mí y me han brindado su amor y apoyo incondicional, siendo mi inspiración de esfuerzo, perseverancia y dedicación.

A mis hermanos, que me incentivaron a seguir adelante creyendo y confiando en mis capacidades.

A mi tutor, PhD. Jorge Luis Santamaría Carrera por compartir su experiencia y conocimiento durante el desarrollo de la investigación.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SECIÓN DE DERECHOS	iii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN.....	iv
CERTIFICADO ANTIFLAGIO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.1.1 Pregunta de investigación	19
1.2. Justificación	20
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general	21
1.3.2. Objetivos específicos	22

1.4. Línea de investigación	22
1.5. Aplicabilidad de la propuesta y relevancia	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes	24
2.1.1 Nivel Internacional.....	24
2.1.2 A nivel Local.....	25
2.2. Fundamentación Legal.....	28
2.3. Fundamentación Teórica.....	30
2.1.3 Pavimento.....	30
2.1.4 Método de la ruta crítica.....	32
2.1.5 Simulación Monte Carlo	34
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	38
3.1. Tipo de Investigación.....	38
3.2. Diseño de Investigación.....	39
3.2.1. Diseño no experimental.....	39
3.2.2. Estudio de caso.....	39
3.2.3. Fase de estudio	39
3.3. Técnicas de recolección de Datos	42
3.4. Población de estudio y tamaño de muestra	43
3.4.1. Universo de estudio.....	43
3.4.2. Muestra.....	43

3.5. Métodos de análisis, y procesamiento de datos	44
3.5.1. Procesamiento	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Análisis descriptivo de los resultados	45
4.1.1 Identificación de los riesgos	45
4.1.2 Modelación del presupuesto	55
4.1.3 Modelación del cronograma	64
4.2. Contraste de resultados	73
4.3. Discusión	83
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	86
4.4. Conclusiones	86
4.5. Recomendaciones	87
CAPÍTULO VI. PROPUESTA	89
5.1. Planteamiento de la Propuesta	89
5.2. Objetivo	90
5.3. Metodología	90
5.4. Lineamientos estratégicos	91
5.4.1 Lineamiento 1: Incorporación de Herramientas de Simulación en la Planificación de Proyectos	91
5.4.2 Lineamiento 2: Capacitación y Formación Técnica en Métodos de Gestión Probabilística	92

5.4.3 Lineamiento 3: Creación de un Sistema de Monitoreo Basado en Simulación de Riesgos.....	93
5.4.4 Lineamiento 4: Incentivos para la Adopción de Métodos Probabilísticos en la Industria Vial.....	94
5.5. Conclusiones y prospectiva.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	98
Apéndice.....	102
Apéndice. A Entrevista al contratista de Obra	102
Apéndice. B Grafico Project.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Sección de un pavimento flexible.....	31
Figura 2.- Sección de un pavimento rígido.	31
Figura 3.- Simulación Monte Carlo.....	37
Figura 4.- Análisis de riesgos presupuesto	54
Figura 5.- Análisis de riesgos cronograma	54
Figura 6.- Interfaz del programa.....	60
Figura 7.- Nueva Simulación y número de iteraciones	60
Figura 8.- Supuestos de entrada.....	61
Figura 9.- Pronóstico de salida	61
Figura 10.- Progreso de la simulación.....	61
Figura 11.- Distribución en el software.....	62
Figura 12.- Diagrama de Gantt del proyecto	63
Figura 13.- Distribución del cronograma y su cumplimiento al 95%	69
Figura 14.- Distribución del cronograma y su cumplimiento para identificar la contingencia	70
Figura 15.- Rubros de Análisis.....	71
Figura 16.- Rubros críticos a considerar.....	73

Figura 17.- Análisis de costo vs estimación 75

Figura 18.- Simulación de Monte Carlo 78

Figura 19.- Simulación de Monte Carlo 82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Categorías y subcategorías de los riesgos	45
Tabla 2.- Categorías, subcategorías, características e identificación de riesgos	46
Tabla 3.- Matriz de probabilidad e impacto (presupuesto).....	49
Tabla 4.- Matriz de probabilidad e impacto (cronograma).....	51
Tabla 5.- Resumen de priorización de Riesgo (presupuesto)	53
Tabla 6.- Resumen de priorización de Riesgo (cronograma)	53
Tabla 7.- Presupuesto base del proyecto	56
Tabla 8.- Presupuesto adecuado del proyecto	58
Tabla 9.- Análisis de la simulación.....	62
Tabla 10.- Análisis de la simulación (cronograma).....	65
Tabla 11.- Datos para la simulación del cronograma del proyecto	66
Tabla 12.- Datos para la simulación del cronograma del proyecto	69
Tabla 13.- Estimaciones referente a cronograma y costo	74
Tabla 14.- Estimaciones del nuevo costo	76
Tabla 15.- Estimaciones del excedente.....	78
Tabla 16.- Análisis del cronograma.....	80
Tabla 17.- Análisis del cronograma.....	82

RESUMEN

Es acertado acotar que, gestionar eficazmente los costos y plazos en los proyectos viales es un gran desafío en el sector de infraestructura del Ecuador, particularmente en la provincia de Francisco de Orellana, donde muchos proyectos presentan desviaciones significativas respecto de los plazos y presupuestos inicialmente planificados. Para abordar esta problemática, este estudio realiza un análisis comparativo entre el Método de la Ruta Crítica (CPM) y la Simulación de Monte Carlo (SMC) como herramientas de optimización para la gestión de costos y cronogramas en un proyecto vial.

La metodología utilizada en esta investigación adopta un enfoque cuantitativo con el objetivo de evaluar la precisión y aplicabilidad del CPM y SMC en la planificación y control de proyectos de infraestructura. Se utiliza una investigación aplicada para resolver problemas prácticos relacionados con la gestión de costos y cronogramas en proyectos viales, así como una investigación comparativa que analiza las ventajas, desventajas y principales diferencias entre ambos métodos. Los resultados del análisis muestran que la probabilidad de alcanzar el presupuesto depende de una buena planificación financiera y un adecuado control de costos. Sin embargo, es necesario determinar si este cálculo se basa en un modelo determinista o en un enfoque probabilístico, ya que en escenarios reales siempre existe variabilidad debido a factores externos. Estos resultados resaltan la importancia de utilizar herramientas de simulación avanzadas para fortalecer el proceso de toma de decisiones en la gestión de proyectos viales, minimizar riesgos y optimizar la eficiencia de los recursos.

Palabras claves: CPM, SMC, risk simulator, control de proyectos

ABSTRACT

It is important to note that managing costs and schedules in road infrastructure projects presents a significant challenge in Ecuador's infrastructure sector, particularly in Francisco de Orellana province. Many of these projects experience substantial deviations from their initially planned timelines and budgets. To address this issue, this study conducts a comparative analysis of two optimization tools— the Critical Path Method (CPM) and Monte Carlo Simulation (MCS)—for managing costs and schedules in road infrastructure projects. This research employs a quantitative methodology to assess the accuracy and applicability of CPM and MCS in planning and controlling infrastructure projects. An applied research approach addresses practical issues related to cost and schedule management in road projects alongside a comparative analysis that examines the advantages, disadvantages, and key differences between the two methods. The analysis reveals that the likelihood of staying within budget depends heavily on robust financial planning and effective cost control. It is crucial to determine whether this assessment is based on a deterministic model or a probabilistic approach, as real-world scenarios inherently involve variability due to external factors. These findings emphasize the importance of using advanced simulation tools to improve decision-making processes, mitigate risks, and optimize resource efficiency in road project management.

Keywords: CPM, MCS, risk simulator, project control.

Reviewed by:



Lic: Raquel Verónica Abarca Sánchez. Msc.

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0606183804

INTRODUCCIÓN

La gestión eficaz de los costos y cronogramas de los proyectos viales es un factor decisivo para su éxito, especialmente en entornos de alta incertidumbre, como el sector de infraestructura en Ecuador. Tradicionalmente, la planificación y control de estos proyectos se basa en métodos deterministas, como los diagramas de Gantt y el método de la ruta crítica (CPM). Sin embargo, estas herramientas tienen limitaciones porque no tienen en cuenta explícitamente la variabilidad y la incertidumbre inherentes al desempeño de las tareas (Mendoza y Haumani , 2023). En este contexto, el uso de herramientas de análisis de probabilidad, como la simulación de Monte Carlo, se ha convertido en una opción clave para mejorar la precisión de la planificación, permitiendo evaluar diferentes escenarios y gestionar los riesgos de forma más efectiva.

En consecuencia, el objetivo de este estudio es realizar un análisis comparativo entre la gestión de costos y cronogramas utilizando el método de la ruta crítica y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial desarrollado en Francisco de Orellana, Ecuador. A través de esta comparación, pretendemos resaltar los beneficios y limitaciones de cada enfoque, así como determinar su aplicabilidad en la optimización de recursos y la mitigación de riesgos. Se analizarán los impactos de ambos métodos en la planificación de cronogramas y estimación de presupuestos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de proyectos de infraestructura vial.

Es acertado acotar que la relevancia de este estudio radica en la necesidad de modernizar las estrategias de gestión en el sector de la construcción adoptando herramientas que mejoren la confiabilidad de las estimaciones y minimicen sobrecostos y retrasos. La implementación de metodologías avanzadas no sólo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la viabilidad financiera de los proyectos y su alineación con los estándares

internacionales de gestión de proyectos (Montejo, 2006). De esta forma, este análisis comparativo servirá como referencia para futuras iniciativas de infraestructura en Ecuador y estimulará la adopción de enfoques más precisos y eficientes para la gestión de la construcción de carreteras.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

Dentro de la industria de la construcción la mayoría de proyectos viales que se ejecutan en Francisco de Orellana no se llevan adecuadamente los plazos y costos estipulados inicialmente, una de las causas de los atrasos y sobrecosto es debido a un deficiente análisis en el presupuesto y la programación de la obra. La gestión de tiempos requiere de métodos de control y seguimiento más específicos (Caneiro, 2019).

Es importante una planeación correcta y adecuada de todos los procesos constructivos que interactúen en la optimización de los recursos necesarios que se utilizan en la construcción de los diferentes proyectos viales, desde su inicio y hasta la finalización del proyecto evidenciando los factores no deseados durante toda la ejecución de la construcción, para reducción de tiempos y costos.

La presente investigación pretende determinar los costos y tiempos reales durante todas las etapas de la ejecución del proyecto mediante una comparación entre el método de la cadena crítica con el uso de diagramas GANTT y simulación Montecarlo para determinar el nivel de cumplimiento sea el máximo alcanzable y la empresa cuente como valor agregado tiempos de entrega menores y seguridad en el cumplimiento de plazos (Hagemann, 2001).

1.1.1 Pregunta de investigación

Es de esta manera que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Efectuar un análisis comparativo que involucre la gestión; costo y tiempo permitirá establecer un modelo fiable de contraste entre la gestión tradicional y gestión actual (uso de programas)?

1.2. Justificación

En Francisco de Orellana el poco interés que ponen los Administradores de la obra para realizar una buena planificación y el control del tiempo y costos, ocasionan el sobregasto y el desgaste de tiempo no programado, dando como resultado pérdidas económicas. Es imprescindible considerar: la duración total del proyecto, fecha de inicio y fin de cada una de las actividades, así como el conocimiento que tendrá el atraso o desfase en la realización de las tareas individuales que forman parte del proyecto. Los atrasos en las actividades individuales del proyecto tienen incidencias directas en los costos presupuestados.

Nowak y Collins (2000) manifiestan que existen varias incertidumbres en el proceso financiero de los proyectos de construcción que causan un gran cambio en la estimación final del costo del proyecto. Para simular y analizar tales sistemas, es necesario identificar las variables de diseño. Luego, se debe determinar la función de densidad de probabilidad de cada parámetro.

La presente investigación pretende estimar el análisis de riesgo económico con los indicadores de gestión de costo y tiempo, mediante el método de ruta crítica y la simulación de Montecarlo, con la finalidad de plantear diferentes escenarios que sirvan de base para tomar decisiones adecuadas en una inversión del proyecto vial de Asfalto en Francisco de Orellana.

Con este estudio se quiere dejar como precedente para las próximas investigaciones que permitan realizar cálculos en otros proyectos similares, para lo cual se creará un modelo de Simulación de Monte Carlo basado en la teoría de la probabilidad de simular resultados de las variables aleatorias; la simulación permitirá conocer si el proyecto de “Rectificación, ampliación y asfaltado de la vía en el centro turístico paco playa, parroquia San Luis de

Armenia, cantón Francisco de Orellana, Provincia Orellana”, es aceptable o no y con estos resultados que se obtengan a través de la elaboración de la inversión y por medio de esta realizar una adecuada gestión de costos, tiempo y riesgos identificados que permiten controlar el proyecto en todas sus fases inicio, planificación, control, implementación y cierre y finalmente se documentará toda la información obtenida como planos, programación de obra, simulaciones y presupuesto.

El beneficio que aportará esta investigación será a los contratistas, fiscalizadores y técnicos de esta rama, mediante la identificación de la información concisa sobre el uso de la ruta crítica donde mostrará su efectividad para mejorar y acortar los tiempos y costos en la ejecución de obras viales, de la misma manera el uso del método de cálculo de probabilidades de falla de algún material que ayudará a comprender datos más complejos con mejor precisión y obtener mejores resultados, de esta manera permitirá optimizar los recursos que se dispone para la ejecución de un proyecto cumpliendo los plazos establecidos y con un presupuesto adecuado. Además, cabe indicar la importancia de esta metodología para futuras investigaciones ya que gran parte de las técnicas consideradas en este trabajo tienen uso en los campos de la industria de la construcción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo en la gestión de costo y tiempo mediante el método de ruta crítica y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial en Francisco de Orellana.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Analizar la gestión actual de las actividades de costo y tiempo utilizando el método de ruta crítica de diagramas GANTT y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial en Francisco de Orellana.
- Establecer el método de ruta crítica y simulación de Monte Carlo como herramienta en la gestión de proyectos en Francisco de Orellana.
- Comparar el nivel de cumplimiento del método de ruta crítica diagramas GANTT y simulación de Monte Carlo con la gestión Tradicional.

1.4. Línea de investigación

Ingeniería, Producción, Industria y Construcción

1.5. Aplicabilidad de la propuesta y relevancia

Desde un punto de vista práctico, la integración de la simulación de Monte Carlo con el método de la Ruta Crítica permite modelar diferentes escenarios de ejecución, identificando retrasos, sobrecostos y riesgos asociados a la asignación ineficiente de recursos. Actualmente, la gestión tradicional de proyectos viales en la región se basa en cronogramas de construcción lineales, donde no siempre se toman en cuenta las variaciones en los tiempos de ejecución o las fluctuaciones en los costos. Este estudio propone una alternativa metodológica basada en herramientas matemáticas y estadísticas que permite predecir posibles desviaciones y generar estrategias de mitigación.

La relevancia de la investigación se basa en la necesidad de mejorar la planificación de proyectos de infraestructura vial, especialmente en zonas con alto potencial turístico como Paco Playa. La gestión ineficiente de costos y tiempos en este tipo de obras no sólo resulta en sobrecostos y plazos alargados, sino que también tiene un impacto negativo en la

economía local y el desarrollo sostenible de la comunidad. Con la aplicación de estas herramientas se busca brindar un marco metodológico que pueda ser reproducible en futuras construcciones viales en la Provincia de Orellana y otras zonas de características similares.

Además, esta propuesta contribuye a la modernización de la gestión de proyectos de infraestructura en el Ecuador, en línea con las prácticas internacionales que priorizan la optimización de recursos y la reducción de la incertidumbre en la planificación. La combinación del método de la ruta crítica y la simulación de Monte Carlo no sólo mejora la predicción de escenarios adversos, sino que también facilita la toma de decisiones basada en datos cuantitativos, lo que fortalece la gestión estratégica de la construcción de carreteras.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Nivel Internacional

En la investigación realizada por Higuera (2015) habla acerca de que en la actualidad tener proyectos de obras civiles y vías para la movilización en buen estado son de mucha importancia, requieren estándares de calidad para permitir el tráfico de manera rápida, cómoda, segura y económica. Es crucial para el progreso de Latinoamérica en términos de desarrollo económico, social, ambiental y de seguridad. Es fundamental priorizar la construcción, mantenimiento y mejora de la infraestructura vial para asegurar un futuro próspero y sostenible para todos los países latinoamericanos.

Uno de los estudios realizado por Gómez y Orobio (2015) habla acerca del análisis de los efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción, aquí se analiza cómo factores inciertos, como cambios en la disponibilidad de materiales y condiciones climáticas afectan la programación de actividades. La simulación de Monte Carlo como herramienta para modelar estos escenarios ayudo a identificar riesgos críticos y mejorar la toma de decisiones en la programación.

Por otro lado, un estudio realizado por Garzón Ospina (2019) se centró en el análisis de riesgos en proyectos de construcción a través de la cuantificación de probabilidades el cual permitió demostrar que la simulación de Monte Carlo es efectiva para evaluar escenarios de alto riesgo, permitiendo generar planes de mitigación más sólidos.

Asimismo, Bilato *et al.*, (2022) en su estudio desarrollaron un enfoque analítico basado en estadísticas en donde utilizaron datos oficiales del gobierno sobre ocurrencias de accidentes y datos de compañías de seguros de carga para estimar el costo de riesgo de las

rutas utilizando la simulación de Monte Carlo, además emplearon el Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados (CVRP) para minimizar los costos logísticos y de riesgo variando un coeficiente de nivel de seguridad específico generando un modelo de soluciones con rutas más seguras, reduciendo el costo del riesgo.

En el estudio realizado por Flores Araya (2015) se centró en realizar la aplicación del método de simulación de Monte Carlo en la planificación de proyectos de ingeniería civil, específicamente aquellos en la fase de construcción. Propone la metodología para que su uso pueda ser utilizado por cualquier organismo o empresa que desarrolle el diseño y construcción de obras civiles, mostrando aplicaciones numéricas con datos de proyectos reales para modelar distintos escenarios y el estimado de costo usando programas computacionales. Para superar la falta de información sobre la estocasticidad de la duración de actividades y estimación de costos se realiza una entrevista dirigida a los profesionales del área de la planificación de proyectos para obtener datos empíricos y así poder modelar mediante simulación con datos reales.

Además, el análisis Monte Carlo hoy en día se ha convertido en una herramienta fundamental en la gestión de proyectos para realizar análisis cuantitativos de riesgo. La integración del CPM con la SMC permite no solo optimizar los tiempos de ejecución, sino que también ayuda a prevenir variaciones en los costos, lo que resulta esencial y necesario en proyectos viales de gran amplitud. (Wrike, 2006)

2.1.2 A nivel Local

En Ecuador, se utilizan materiales de alta calidad que cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por las autoridades competentes para el lastrado de vías. Mendoza y Vilcapaza (2023) dicen que, para asegurar la estabilidad y la durabilidad de las vías, se utilizan agregados pétreos de diversos tamaños y densidades, así como geotextiles

y otros materiales auxiliares. Para garantizar una distribución uniforme de los materiales y una compactación adecuada de la capa de lastre, los procesos de lastrado se llevan a cabo mediante técnicas y equipos especializados. Además, se realizan pruebas de calidad y control de compactación para asegurarse de que se cumplan los estándares.

Según Izurieta *et al.*, (2024), la seguridad y eficiencia del transporte dependen de la calidad del lastrado de las vías, un lastrado deficiente aumenta el riesgo de accidentes y problemas de estabilidad y desgaste prematuro de las vías. Por lo tanto, el cumplimiento de los estándares de calidad en este proceso es esencial para garantizar la integridad y confiabilidad del sistema de transporte. El cumplimiento de estas regulaciones es esencial para garantizar la durabilidad y confiabilidad de las vías, prevenir accidentes y brindar un servicio de transporte de alta calidad a la población ecuatoriana.

La provincia de Orellana, ubicada en la región amazónica de Ecuador, es relevante desde un punto de vista estratégico debido a su abundancia de recursos naturales, principalmente petróleo, está expuesta a condiciones climáticas extremas, como fuertes lluvias y crecidas de ríos, las cuales pueden tener un impacto en la infraestructura vial. La construcción de vías en esta provincia es fundamental para mejorar el acceso a estas zonas remotas, impulsar el crecimiento económico y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. Orellana cuenta con zonas de extracción de petróleo y otras actividades relacionadas con la energía. Para permitir el acceso seguro y eficiente a estas áreas y facilitar el transporte de personal, equipos y materiales necesarios para las operaciones petroleras, el lastrado de vías es crucial.

Orellana cuenta con numerosas comunidades rurales dispersas en su territorio, además de la actividad petrolera, el lastrado de vías es fundamental para conectar estas áreas remotas con los centros urbanos, permitiendo el acceso a servicios básicos como la

educación, la salud y el comercio, así como mejorando la integración social y económica de estas comunidades.

Andrade *et al.*, (2019), mencionan que esta provincia es un destino atractivo para el ecoturismo y la conservación ambiental debido a su amplia biodiversidad y belleza natural. Por esto es importante el lastrado de vías, en especial en reservas naturales y áreas protegidas para facilitar el acceso de turistas y científicos mientras se preserva el entorno natural, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de la provincia al fomentar la creación de empleo en el sector de la construcción, la actividad comercial y agrícola en la región, asegurando la continuidad de las actividades económicas y brindando acceso de emergencia en caso de desastres naturales y mejorar la conectividad entre las diferentes localidades.

Según Rojas y Quintín (2013), manifiestan que varios organismos encargados del mantenimiento y operación de carreteras priorizan las intervenciones según los indicadores técnicos determinados por expertos en carreteras, dejando al usuario que circula y siente los efectos de transitar por estas vías al margen.

Delgado *et al.*, (2021), en su estudio sobre la optimización de la programación de proyectos viales, analiza que la implementación de la Simulación de Monte Carlo junto con el Método de la Ruta Crítica, son claves ya que esto permite prever una variedad de escenarios que podrían afectar el cronograma y los costos de un proyecto de infraestructura vial, además se realizaron casos de pruebas con una distribución PERT-Beta utilizando la herramienta propuesta y Risk como herramienta de calibración. Mediante el análisis de correlación se comprueba que esta herramienta se ajusta bien al comportamiento, por lo tanto, la herramienta se aplica a un caso de estudio para recomendar una reserva de contingencia. Este estudio demuestra cómo esta integración ayuda a identificar posibles

retrasos antes de que ocurran y proporciona las bases para desarrollar planes de contingencia más efectivos.

Por otro lado Gavilán (2005) en su estudio acerca de los métodos cuantitativos en la planificación de proyectos viales, descubren que la Simulación de Monte Carlo ayuda estimar con mayor precisión los costos y plazos de ejecución de proyectos de infraestructura, siempre y cuando se tomen en cuenta factores inciertos como condiciones meteorológicas y disponibilidad de recursos, esta herramienta es crucial para gestionar la incertidumbre que siempre está presente en proyectos de este tipo.

Además, en un estudio realizado por Dasa Velasco & Dominguez Rivera (2019) que habla sobre la optimización en la gestión de proyectos de construcción de carreteras, afirman que el uso combinado del CPM y la Simulación de Monte Carlo ha mostrado ser efectivo para reducir los costos asociados con las demoras no planificadas. Los autores concluyen que esta integración mejora significativamente la capacidad de los gerentes de proyectos para identificar riesgos y tomar decisiones informadas sobre la reprogramación de actividades críticas.

2.2. Fundamentación Legal

El desarrollo de proyectos de infraestructura vial en Ecuador debe regirse por un marco normativo que garantice la planificación, ejecución y control eficiente de los recursos, asegurando la transparencia y sostenibilidad en la gestión pública y privada. En este contexto, la presente investigación, que analiza la gestión de costos y tiempos mediante el método de ruta crítica y la simulación de Monte Carlo en el proyecto de asfaltado de la vía Paco Playa en Francisco de Orellana, se fundamenta en diversas disposiciones legales nacionales que regulan la inversión pública, la contratación de obras y la gestión ambiental.

En el ámbito de la planificación y gestión de la inversión pública, el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP) regula los procedimientos que garantizan la sostenibilidad de los proyectos. En su artículo 17, se establece la obligatoriedad de planificar proyectos de inversión con criterios de eficiencia y sustentabilidad, evitando desperdicios de recursos y asegurando la rentabilidad de las obras. El artículo 34 exige que los proyectos de infraestructura se formulen con una gestión adecuada de costos y tiempos, previendo posibles escenarios de riesgo. Por su parte, el artículo 84 ordena que la ejecución de proyectos debe ser evaluada con indicadores de costo, tiempo y calidad, lo que justifica la aplicación de metodologías avanzadas que permitan realizar predicciones y simulaciones más precisas.

Por otro lado, la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (LOSNCP) establece los principios y procedimientos para la contratación de obras públicas en el país. Según el artículo 4 de esta ley, toda contratación pública debe garantizar la eficiencia y optimización de costos, promoviendo la mejor relación entre calidad y precio. Además, el artículo 47 menciona que los proyectos de obra deben estar respaldados por estudios técnicos previos que validen su viabilidad económica y técnica, lo que refuerza la necesidad de utilizar herramientas como la simulación de Monte Carlo para la previsión de escenarios de gestión. Asimismo, el artículo 56 establece que los contratistas están obligados a cumplir con los plazos y costos estipulados en los contratos, lo que hace necesario el uso de herramientas que permitan realizar un control más preciso de la planificación del proyecto.

Además de estas normativas, existen regulaciones técnicas específicas que rigen el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura vial en Ecuador. Entre ellas, las Normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) establecen los estándares técnicos para la planificación y ejecución de carreteras, asegurando el cumplimiento de

criterios de calidad y eficiencia. Asimismo, el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004 establece criterios específicos para la construcción de carreteras y caminos, garantizando la seguridad y durabilidad de las infraestructuras. A esto se suma la Normativa de Control de Obras Públicas de la Contraloría General del Estado, la cual exige el cumplimiento de los plazos y presupuestos establecidos en los contratos, reforzando la necesidad de aplicar herramientas de análisis avanzado que permitan una mejor previsión y control de costos y tiempos.

2.3. Fundamentación Teórica

2.1.3 Pavimento

Según al autor Montejo (2006), manifiesta que: el pavimento es una estructura diseñada y construida técnicamente con materiales adecuados y compactados. Se compone de un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales. Durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento, estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras durante el proceso de exploración y deben resistir adecuadamente al peso de las cargas que pasan repetidamente (p1)

2.1.3.1 Clasificación de pavimento

Segun Official American Association of State and Trans (1993), refiere:

2.1.3.1.1 Pavimento flexible

Están compuestos por un suelo de fundación preparado, también conocido como subrasante, que está subyacente a las capas de subbase, base y superficie de rodadura. En ocasiones, se decide estabilizar la subbase y/o la base para maximizar el uso de los materiales locales. (p 23)

Official American Association of State and Trans (1993) dice que el pavimento flexible es más barato al principio de construir y dura entre diez y quince años. Sin embargo, tiene la desventaja de que necesita mantenimiento regular para mantenerlo en buen estado. (p. 18). Para una mejor comprensión verificar la figura 1.

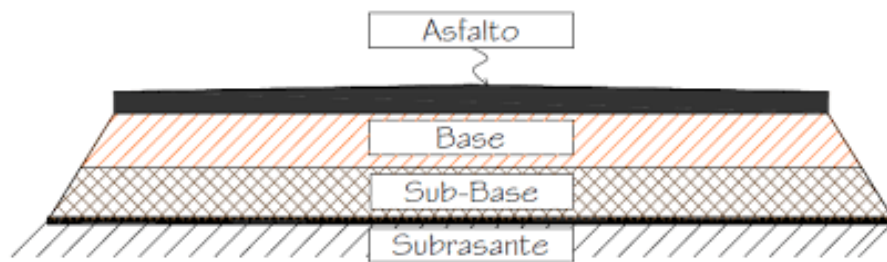


Figura 1.- Sección de un pavimento flexible

Fuente: (Montejo, 2006)

2.1.3.1.2 Pavimento rígido

Generalmente se componen de una losa de pavimento, una capa de subbase y una subrasante subyacente. La subbase se puede estabilizar o no, ver figura 2 expuesta a continuación. La capa de subbase entre la subrasante y la losa del pavimento puede no ser necesaria en un diseño de camino con un tráfico de camiones bajo (p. 31).

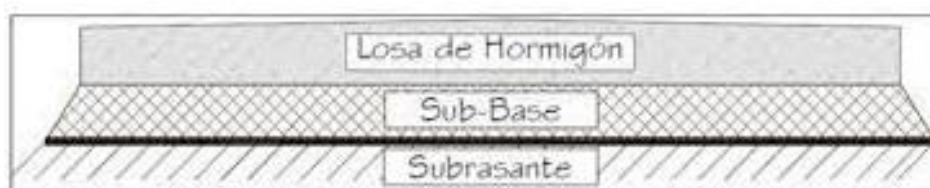


Figura 2.- Sección de un pavimento rígido.

Fuente: (Montejo, 2006)

2.1.4 Método de la ruta crítica

El método de la ruta crítica es una técnica que te permite identificar las tareas necesarias para finalizar un proyecto y determinar cierta flexibilidad en el cronograma. Una ruta crítica en la gestión de proyectos es la secuencia más larga de actividades que deben finalizarse a tiempo para completar todo el proyecto. Cualquier retraso en las tareas críticas provocará el retraso del resto del proyecto (Team Asana, 2024).

El método CPM (Crítical Path Method), el segundo origen del método actual, fue desarrollado también en 1957 en los Estados Unidos de América, por un centro de investigación de operaciones para la firma Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto (Oscarina y Vélez, 2013).

Esta herramienta permite estimar el tiempo más corto en el que es posible completar un proyecto es el método de la ruta crítica (CPM-Critical Path Method) o del camino crítico. Este es un algoritmo utilizado para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos. El objetivo principal es determinar la duración de un proyecto, donde cada una de las actividades del mismo tiene una duración estimada (Torres, 2013).

La duración de las actividades que forman la ruta crítica determina la duración del proyecto entero y las diferencias con las otras rutas que no sean la crítica se denominan tiempos de holgura. Un proyecto puede tener más de una ruta crítica.

2.1.4.1 Ventajas del método de ruta crítica

El método anima a todos los miembros del proyecto a identificar y representar gráficamente todas las distintas actividades del proyecto que deben llevarse a cabo, junto con sus interrelaciones y dependencias, de una manera lógica. Esto resulta beneficioso en la

etapa de planificación, ya que requiere que el proyecto se analice con suficiente detalle a largo plazo. Esto minimiza las posibilidades de pasar por alto actividades y objetivos necesarios del proyecto.

La representación en red es una visualización gráfica de todo el flujo del proyecto, que ofrece una visión general completa que todos los miembros del proyecto pueden comprender. Además, los diagramas de red de proyectos más pequeños se pueden modificar o cambiar fácilmente cuando ocurren eventos inesperados a medida que avanza el proyecto.

El método proporciona una estimación de la duración mínima del proyecto junto con la programación de las actividades individuales del proyecto necesarias para completar el proyecto de interés de manera eficiente. Además, el método también identifica la holgura o la tolerancia de demora sin afectar el tiempo de finalización impuesto para las actividades individuales, además proporciona una base para la estandarización de la documentación y mejora la comunicación de los planes del proyecto, los cronogramas y el desempeño en relación tiempo-costos.

El método permite identificar las rutas críticas y las actividades críticas correspondientes a las que se debe prestar especial atención en el proyecto debido al riesgo de demora. Esto es extremadamente beneficioso en la etapa de monitoreo cuando se hace un seguimiento del progreso del proyecto. Esto significa actualizaciones periódicas sobre el estado del proyecto, así como las rutas críticas teniendo en cuenta el concepto de sensibilidad de la red, ya que las rutas críticas no necesariamente permanecen estáticas durante la vida del proyecto.

2.1.5 Simulación Monte Carlo

Las simulaciones de Monte Carlo son una técnica matemática que predice los posibles resultados de un evento incierto. Los programas informáticos utilizan este método para analizar datos pasados y predecir una serie de resultados futuros en función de una elección de acción.

Tal es el caso que, al estimar las ventas del primer mes de un nuevo producto, puede proporcionar al programa de simulación de Monte Carlo los datos históricos de ventas. El programa estimará diferentes valores de venta en función de factores como las condiciones generales del mercado, el precio del producto y el presupuesto de publicidad (Amazon Web Services, s.f.). Esta técnica matemática fue desarrollada en 1940 por un científico nuclear atómico llamado Stanislaw Ulam. Se emplea en el análisis del impacto de riesgos en un proyecto.

2.1.5.1 Ventajas del uso de la simulación Monte Carlo

Las simulaciones de Monte Carlo proporcionan múltiples salidas posibles y la probabilidad de cada una de estas a partir de un gran conjunto de muestras de datos aleatorios, además ofrece un panorama más claro que una previsión determinista. Por ejemplo, prever los riesgos financieros requiere analizar docenas o cientos de factores de riesgo. Los analistas financieros utilizan la simulación de Monte Carlo para obtener la probabilidad de cada resultado posible.

Se utiliza este método para realizar una identificación temprana de la probabilidad de que se cumplan los hitos y los plazos del proyecto, además de que pueda usarse para elaborar presupuestos y programaciones más realistas. También predice la probabilidad de incumplimientos de la programación y de sobrecostos, cuantifica los riesgos para evaluar mejor los impactos y proporciona datos objetivos para la toma de decisiones (Wrike, 2006).

Dentro del análisis de Monte Carlo existen algunas limitaciones en la gestión de proyectos, una de ellas es la que para que funciones que necesita proporcionar tres estimaciones para cada actividad que se vaya a analizar, esto ya que la efectividad va a depender de las estimaciones proporcionadas.

La simulación además muestra una probabilidad general para todo un proyecto, es decir que no se puede utilizar para analizar actividades o riesgos particulares.

2.1.5.2 Funcionamiento de una simulación Monte Carlo

El principio básico de una simulación de Monte Carlo radica en la periodicidad, que describe el comportamiento estadístico de un punto en movimiento en un sistema cerrado. El punto en movimiento eventualmente pasará por todos los lugares posibles en un sistema ergódico. Esto se convierte en el fundamento de la simulación de Monte Carlo, en la que la computadora ejecuta suficientes simulaciones para producir la salida eventual de diferentes entradas (Amazon Web Services, s.f.).

Por ejemplo, en el caso de un dado de seis caras, la probabilidad de que caiga en un número concreto es de uno a seis. Al lanzar el dado seis veces, es posible que el dado no caiga en seis números diferentes. Sin embargo, se alcanzará la probabilidad teórica de uno a seis para cada número al continuar indefinidamente con los lanzamientos. La precisión del resultado es proporcional al número de simulaciones. En otras palabras, ejecutar 10 000 simulaciones produce resultados más precisos que 100 simulaciones.

La simulación de Monte Carlo funciona de la misma manera. Utiliza un sistema de computación para realizar una cantidad suficiente de simulaciones que produzcan diferentes resultados que imiten los de la vida real. El sistema utiliza generadores de números aleatorios para recrear la incertidumbre inherente a los parámetros de entrada. Los generadores de

números aleatorios son programas de computación que producen una secuencia impredecible de números aleatorios (Zable, 2024).

2.1.5.3 Componentes de una simulación Monte Carlo

Un análisis de Monte Carlo consta de variables de entrada, variables de salida y un modelo matemático. El sistema de computación introduce variables independientes en un modelo matemático, las simula y produce variables dependientes. Las variables de entrada son valores aleatorios que afectan la salida de la simulación de Monte Carlo. Por ejemplo, la calidad de fabricación y la temperatura son variables de entrada que influyen en la durabilidad de un teléfono inteligente. Las variables de entrada se pueden expresar como un rango de muestras de valores aleatorios de modo que los métodos de Monte Carlo puedan simular los resultados con valores de entrada aleatorios.

La variable de salida es el resultado del análisis de Monte Carlo. En consecuencia, la vida útil de un dispositivo electrónico es una variable de salida, que se expresa en un valor de tiempo, como 6 meses o 2 años. El software de simulación de Monte Carlo muestra la variable de salida en un histograma o gráfico que distribuye el resultado en un rango continuo en el eje horizontal (Zable, 2024).

Un modelo matemático es una ecuación que describe la relación entre las variables de salida y de entrada en forma matemática. Por ejemplo, el modelo matemático de rentabilidad se idealiza por medio de la figura 3 expuesta a continuación:

$$\textit{Beneficio} = \textit{Ingresos} - \textit{Gastos}.$$

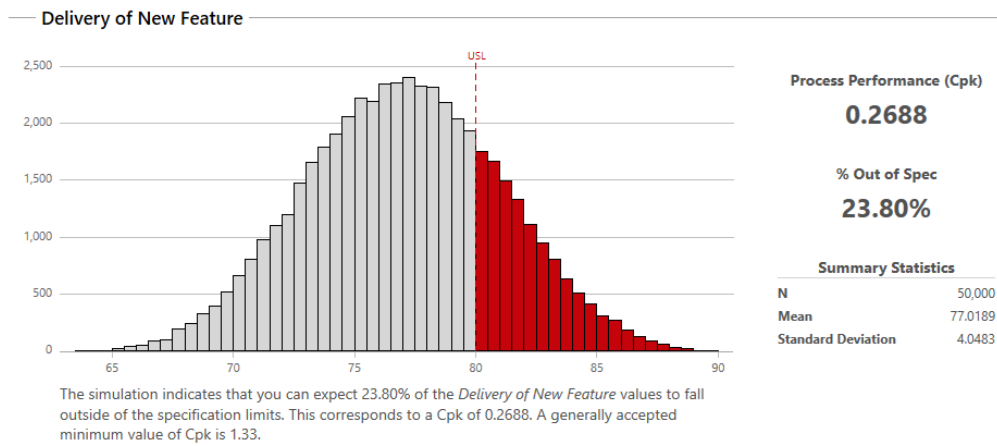


Figura 3.- Simulación Monte Carlo

Fuente: (Zable, 2024)

El software de Monte Carlo sustituye los ingresos y los gastos por valores probables en función del tipo de distribución de probabilidad. Posteriormente, repite la simulación para obtener un resultado muy preciso. La simulación de Monte Carlo se puede ejecutar durante horas cuando el modelo matemático involucra muchas variables aleatorias.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo, el mismo que tiene como objetivo principal analizar y comparar la precisión del método de la ruta crítica (CPM) y la simulación de Monte Carlo (SMC) dentro de la gestión de costos y tiempos en un proyecto vial.

Además, se utilizó una investigación aplicada misma que se busca resolver problemas prácticos relacionado con la gestión de costos y tiempos en proyectos viales. Una investigación comparativa la cual tiene un enfoque en las ventajas, desventajas y resultados que presentan los métodos CPM y SMC. Finalmente, se usó una investigación descriptiva y explicativa en donde se describe el funcionamiento y se explica las diferencias de las dos herramientas.

En una simulación de Monte Carlo puede haber distintos tipos de errores, esto es debido a que la generación de números pseudoaleatorios no es 100% aleatoria. Sin embargo, se asumirá que Microsoft Excel entrega números aleatorios de forma aceptable para el desarrollo de esta memoria. Los algoritmos probabilísticos son usados en situaciones donde los métodos determinísticos son insuficientes y aunque el error de aproximación es aleatorio y la convergencia es lenta, es el mejor método conocido hasta ahora (LAPEYRE *et al.*, 2023).

3.2. Diseño de Investigación

3.2.1. Diseño no experimental

Se presentó un diseño no experimental, esto se debe a que las variables no van a ser manipuladas directamente, en su lugar se toman datos reales de un proyecto vial que ya existe y así analizar los resultados obtenidos mediante CPM y SMC.

3.2.2. Estudio de caso

El estudio se realizó con un enfoque en un proyecto vial representativo el cual ayude a aplicar las dos metodologías mencionadas, se seleccionó con base en criterios de accesibilidad y relevancia para la región de estudio.

3.2.3. Fase de estudio

3.2.3.1. Fase 1: Planificación y definición del alcance

El primer paso efectuado se enfocó en limitar el alcance del proyecto y recopilar toda la información necesaria para que el análisis sea relevante y estructurado. El proyecto en estudio es el mejoramiento, ampliación y asfaltado de la vía en el cantón Francisco de Orellana. Por ende, la idea fundamental fue recopilar datos sobre la ubicación geográfica exacta, características del terreno y el impacto que estas obras tendrán en la comunidad local, especialmente en términos de desarrollo turístico y conectividad.

La información técnica incluyó planos de diseño, cronogramas preliminares y presupuestos detallados. Además, fue necesario identificar todas las actividades involucradas en el proyecto y clasificarlas en actividades críticas y no críticas. Esto permitió determinar las dependencias entre actividades y la duración estimada para cada una de ellas, valores que deben cubrir un rango de escenarios posibles (mínimo, máximo y más probable).

Un paso importante en esta fase fue definir los parámetros de análisis que guiaron el desarrollo de la investigación. En el método de la ruta crítica, el enfoque se centró en identificar actividades críticas y optimizar el cronograma; mientras que, para la simulación de Monte Carlo, el objetivo fue modelar la incertidumbre en el tiempo(cronograma), costo y destacar la probabilidad de alcanzar los objetivos del proyecto.

3.2.3.2. Fase 2: Análisis mediante el método de ruta crítica (Microsoft Project)

En este paso, se creó un cronograma detallado utilizando Microsoft Project que reflejó todas las actividades del proyecto y sus interdependencias. Por ende, se efectuó una lista jerárquica de tareas, organizándolas en etapas: planificación, ejecución, supervisión y finalización. Para cada tarea, se especificó su duración estimada y la relación de prioridad, como de inicio a fin o de fin a inicio. Esto permitió que el programa calcule automáticamente la duración total del proyecto.

La ruta crítica se identificó utilizando las herramientas automatizadas de Microsoft Project, que determinaron qué actividades no tienen holgura y, por lo tanto, impactan directamente en la duración general del proyecto. Este análisis dio una idea clara de los puntos críticos que deben ser monitoreados para evitar retrasos. Además, se asignaron recursos a cada tarea, como personal, maquinaria y materiales, y se especificaron sus costos unitarios y totales.

Una vez desarrollado el cronograma, se simuló un escenario para evaluar cómo las variaciones en las actividades críticas afectan el tiempo y en caso de ser necesario el costo total del proyecto. Entre ellas se incluirían retrasos causados por condiciones climáticas adversas, escasez de materiales o averías de máquinas. Los resultados de estas simulaciones permitieron identificar áreas en las que se puede optimizar el cronograma y mejorar la asignación de recursos.

3.2.3.3. Fase 3: Análisis mediante simulación de Monte Carlo (Risk simulator 2017)

Para el análisis de probabilidad se empleó el software Risk simulator, que permitió modelar la incertidumbre de los plazos y costos del proyecto. En esta etapa se definió un modelo probabilístico que represente las actividades críticas identificadas en el análisis de la ruta crítica. Cada actividad fue modelada con una distribución de probabilidad indicando su duración, coste, y estableciendo valores mínimo, máximo y más probable. Estas distribuciones se basaron en datos históricos del proyecto o estimaciones de expertos.

El modelo incluyó variables externas que pueden afectar el desarrollo del proyecto, como las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos, así como la posibilidad de eventos imprevistos, como interrupciones en el suministro de materiales. Una vez definido el modelo, se realizaron simulaciones de Monte Carlo con al menos 5.000 iteraciones para generar una distribución probabilística de resultados. Esto ayudó a calcular parámetros clave como la probabilidad de completar el proyecto a tiempo y dentro del presupuesto.

Los resultados generados por el software incluyeron gráficos como histogramas y curvas de probabilidad acumulada, que ayudaron a visualizar los riesgos asociados al proyecto. Este análisis proporcionó una base sólida para proponer estrategias de mitigación de riesgos y evaluar la efectividad de las técnicas utilizadas.

3.2.3.4. Fase 4: Comparación y validación

El cuarto paso fue comparar los resultados obtenidos del método de la ruta crítica y las simulaciones de Monte Carlo. Este análisis se centró en evaluar la precisión de las estimaciones, la capacidad de cada técnica para identificar riesgos y su utilidad en la toma de decisiones. Estos resultados se compararon con la gestión tradicional utilizada en proyectos similares y se evaluaron aspectos como la eficiencia en el cumplimiento del cronograma y la optimización de costos.

Además, se analizaron las ventajas y limitaciones de cada técnica en términos de facilidad de uso, aplicabilidad al contexto local y adaptabilidad a las condiciones específicas del proyecto.

3.3. Técnicas de recolección de Datos

La recopilación de datos es un componente esencial de cualquier investigación, ya que proporciona la información necesaria para analizar, interpretar y validar los resultados. A la par se genera una comparación mediante el método de la ruta crítica y simulación de Monte Carlo en el contexto de la gestión de costos y cronogramas. En consecuencia, fue indispensable seleccionar técnicas que aseguren la precisión y relevancia de los datos.

Una de las principales técnicas utilizadas es la revisión documental, que implica la recopilación de información detallada sobre el proyecto vial, como planes de diseño, especificaciones, programas preliminares, presupuestos preliminares y especificaciones técnicas. Estos documentos ayudaron a identificar actividades críticas, sus interdependencias y recursos asignados, y sirvieron como base para crear modelos detallados en Microsoft Project y Risk simulator. Es fundamental que la información recopilada esté actualizada y provenga de fuentes confiables, como informes técnicos oficiales o datos generados por contratistas y organismos públicos involucrados en la ejecución del proyecto.

Otra técnica relevante fue la entrevista a expertos, enfocada en obtener datos cualitativos y cuantitativos que complementen la información documental. Estas entrevistas se realizaron a ingenieros civiles, gestores de proyectos y otros profesionales relacionados con el proyecto de rectificación, ampliación y asfaltado de la vía en el Centro Turístico Paco Playa. El objetivo fue obtener estimaciones sobre las duraciones de las actividades, identificar factores de incertidumbre en costos y tiempos, y conocer las prácticas tradicionales de gestión empleadas en proyectos similares. Para maximizar la utilidad de

estas entrevistas, se diseñaron cuestionarios semiestructurados que incluyan preguntas abiertas y cerradas, permitiendo a los entrevistados exponer su experiencia y conocimiento técnico. Este enfoque también facilitó la validación de los modelos generados en las etapas posteriores, asegurando que reflejen fielmente la realidad del proyecto. **(Ver apéndice A)**

Adicionalmente, también se implementó la observación directa, que implicó visitas al sitio del proyecto, para recolectar datos in situ sobre el avance de las actividades, disponibilidad de recursos y condiciones ambientales específicas. Durante estas visitas se registraron fotografías, notas descriptivas y mediciones para ayudar a evaluar el cumplimiento del cronograma inicial e identificar posibles riesgos no cubiertos por los documentos. Esta técnica fue particularmente útil para validar la información recopilada durante fases anteriores e identificar discrepancias entre el plan del proyecto y la implementación real. En conjunto, estas técnicas de recopilación de datos garantizaron que la información utilizada en el análisis sea completa, precisa y representativa, proporcionando una base sólida para la comparación entre el método de la ruta crítica y las simulaciones de Monte Carlo.

3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

3.4.1. Universo de estudio

El universo de estudio corresponde al proyecto vial, Parroquia San Luis de Armenia de la Provincia de Orellana. El tratamiento muestral: Se trabajará con una muestra de estudio probabilística ya que se tomará una muestra representativa del proyecto en estudio.

3.4.2. Muestra

Para la investigación se tomó datos de cada una de las actividades del proyecto vial de la Comunidad Estrellayacu en Francisco de Orellana

3.5. Métodos de análisis, y procesamiento de datos

3.5.1. *Procesamiento*

El procesamiento de la información se realizó mediante software estadístico donde se generó gráficos de distribución normal el cual permitió obtener datos aleatorios para simular posibles escenarios en función del costo y tiempo de un proyecto, finalmente se obtuvo el resultado de cada actividad más apropiado a la realidad. Para CPM se realizó la identificación de actividades críticas y cálculo de la ruta crítica mediante software y el análisis del cronograma y determinación de costos totales estimados. Para SMC se generó múltiples simulaciones y el Modelado de incertidumbres en duración y costos mediante distribuciones de probabilidad.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis descriptivo de los resultados

4.1.1 Identificación de los riesgos

Con base en la información recapitulada por medio de la entrevista a expertos, estos desatacaron que los riesgos más comunes dentro de un proyecto son los enlistados en la tabla 1 en la cual se detalla la existencia de riesgos de aspecto técnico, externos, de la organización y dirección.

Tabla 1.- Categorías y subcategorías de los riesgos

ÍTEMS	RIESGOS
1	TÉCNICOS
1.1	Requisitos
1.2	Tecnología
1.3	Rendimiento y fiabilidad
1.4	Calidad
2	EXTERNOS
2.1	Subcontratistas y proveedores
2.2	Cliente
2.3	Condiciones climáticas y naturales
3	DE LA ORGANIZACIÓN
3.1	Priorización
3.2	Logística y transporte
3.3	Seguridad física
4	DIRECCIÓN DEL PROYECTO
4.1	Estimación
4.2	Control

Por otro lado, en la tabla 2 a continuación, se destacan las categorías y subcategorías de los riesgos con sus respectivas categorías con base en el levantamiento de información realizada, mismos que son parte de los peligros dentro de un proyecto.

Tabla 2.- Categorías, subcategorías, características e identificación de riesgos

Categoría	Subcategoría	Descripción	Ítems
1. TÉCNICOS	1.1 Requisitos	Riesgos asociados a los requisitos indispensables para el desarrollo del proyecto.	1.1.1 Demoras en la autorización y aprobación de permisos.
	1.2 Tecnología	Riesgos en requerimientos de tecnologías avanzadas o cambio en el nivel de obsolescencia.	1.2.1 Herramientas y tecnologías obsoletas.
	1.3 Rendimiento y fiabilidad	Riesgos asociados al control de materiales y equipos defectuosos.	1.3.1 Accidentes de trabajo.
	1.4 Calidad	Riesgos asociados a la calidad de las actividades y resultados.	1.4.1 Omisión de las normas internas de calidad. 1.4.2 Deficiencia en la producción total del material.
2. EXTERNO	2.1 Subcontratistas y proveedores	Riesgos asociados a incumplimientos, entrega de materiales	2.1.1 Entrega incompleta o fuera de tiempo

		defectuosos o fuera de tiempo.	del material. 2.1.2 Fallo en las actividades por no cumplir estándares.
	2.2 Cliente	Riesgos en la relación contractual con el cliente.	2.2.1 Limitada aprobación por el cliente.
	2.3 Condiciones climáticas y naturales	Riesgos asociados a condiciones meteorológicas adversas.	2.3.1 Lluvias abundantes.
3. DE LA ORGANIZACIÓN	3.1 Priorización	Riesgos asociados al enfoque y priorización en los objetivos del proyecto.	3.1.1 Cambios en la dirección del proyecto por conflictos internos.
	3.2 Logística y transporte	Riesgos asociados a la entrega oportuna de equipos, materiales y personal.	3.2.1 Retrasos en el transporte del material y personal. 3.2.2 Accidentes en el traslado de recursos.
	3.3 Seguridad física	Riesgos asociados a la salud, seguridad y medio ambiente.	3.3.1 Acceso a áreas en mal estado que representen un riesgo.

4. DIRECCIÓN DEL PROYECTO	4.1. Estimación	Riesgos asociados con los supuestos de gran significado en el proyecto.	4.1.1 Disponibilidad del terreno. 4.1.2 Cambios en el modelo. 4.1.3 Perdida de tiempo y recursos por trabajos reiterativos. 4.1.4 Variación de la cantidad de obra
	4.2. Control	Riesgos asociados al control que se realiza por parte de la gerencia.	4.2.1 Demora en la entrega de diseños que fueron modificados 4.2.2 Suelo inestable

Es de esta manera que con las categorías a la par de los riesgos identificados se puede establecer la tabla 3 denominado como matriz de probabilidad de impacto, considerando que todo se debe enfocar en un análisis de costo y tiempo para el presente proyecto de investigación. Siendo este el caso de la estimación para el presupuesto.

Tabla 3.- Matriz de probabilidad e impacto (presupuesto)

ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS CONSTRUCTIVOS E IMPACTO DE LOS RIESGOS PARA EL PRESUPUESTO							
Ítem	Tipo de Riesgo	Probabilidad de Ocurrencia (P)		Impacto sobre el Proyecto (I)		PxI	Categoría del Riesgo
		Valoración	Categoría	Valoración	Categoría		
1. TÉCNICOS	Demora en la adquisición de los datos por parte del contratista	0,8	Moderado	0,5	Alto	0,40	Aceptable
	El contratista no tiene la maquinaria para el proyecto	0,8	Moderado	0,9	Muy alto	0,72	Intolerable
	El desarrollo del proceso no contempla la calidad	0,9	Moderado	0,8	Alto	0,72	Intolerable
2. EXTERNOS	Los proveedores no son confiables	0,9	Improbable	0,5	Bajo	0,45	Intolerable
	El presupuesto es abordado en su porcentaje correspondiente	0,85	Moderado	0,9	Muy alto	0,77	Aceptable
		0,7		0,8	Alto	0,56	Tolerable

ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS CONSTRUCTIVOS E IMPACTO DE LOS RIESGOS PARA EL PRESUPUESTO							
Ítem	Tipo de Riesgo	Probabilidad de Ocurrencia (P)		Impacto sobre el Proyecto (I)		PxI	Categoría del Riesgo
		Valoración	Categoría	Valoración	Categoría		
	Lluvias abundantes y deslaves		Casi certeza				
3. DE LA ORGANIZACIÓN	Los materiales no llegan a obra en el tiempo acordado	0,75	Moderado	0,7	Medio	0,53	Tolerable
	Retrasos en el comienzo de la obra, actividades y entregas del proyecto	0,85	Moderado	0,5	Medio	0,43	Aceptable
4. DIRECCIÓN DEL PROYECTO	Los trabajadores no cuentan con los equipos de protección adecuados	0,6	Improbable	0,4	Bajo	0,24	Aceptable
	Pérdida de tiempo y recursos por trabajos vueltos a hacer	0,8	Casi certeza	0,8	Alto	0,64	Aceptable

Por otro lado, en la tabla 4 se destaca la matriz de probabilidad e impacto para el tiempo de desarrollo del programa, es decir, aspectos que posiblemente puedan interrumpir la culminación del proyecto.

Tabla 4.- Matriz de probabilidad e impacto (cronograma)

ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS CONSTRUCTIVOS E IMPACTO DE LOS RIESGOS PARA EL CRONOGRAMA							
Ítem	Tipo de Riesgo	Probabilidad de Ocurrencia (P)		Impacto sobre el Proyecto (I)		PxI	Categoría del Riesgo
		Valoración	Categoría	Valoración	Categoría		
1. TÉCNICOS	Demora en la adquisición de los datos por parte del contratista	0,8	Moderado	0,5	Alto	0,40	Acceptable
	El desarrollo del proceso no contempla la calidad	0,9	Moderado	0,8	Alto	0,72	Intolerable
2. EXTERNOS	Los proveedores no entregan el material a tiempo	0,9	Improbable	0,5	Bajo	0,45	Intolerable
	Accidentes laborales	0,8	Moderado	0,8	Alto		Tolerable

ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS CONSTRUCTIVOS E IMPACTO DE LOS RIESGOS PARA EL CRONOGRAMA							
Ítem	Tipo de Riesgo	Probabilidad de Ocurrencia (P)		Impacto sobre el Proyecto (I)		PxI	Categoría del Riesgo
		Valoración	Categoría	Valoración	Categoría		
	Lluvias abundantes y deslaves	0,7	Casi certeza	0,8	Alto	0,56	Tolerable
3. DE LA ORGANIZACIÓN	Cambios en el diseño del borde	0,8	Moderado	0,8	Alto	0,64	Tolerable
	Retrasos en el comienzo de la obra, actividades y entregas del proyecto	0,85	Moderado	0,9	Muy alto	0,77	Intolerable
4. DIRECCIÓN DEL PROYECTO	Los trabajadores no efectúan su trabajo con el progreso acotado dentro del cronograma	0,6	Moderado	0,6	Medio	0,36	Intolerable
	Pérdida de tiempo y recursos por trabajos vueltos a hacer	0,7	Casi certeza	0,8	Alto	0,56	Aceptable

Una vez establecida la matriz de riesgos es fundamental establecer una jerarquización de la información. Es de esta manera que se puede establecer la tabla 5 denominada como resumen de priorización de riesgo en la cual se establecen los porcentajes para tolerable e intolerable para el caso del presupuesto.

Tabla 5.- Resumen de priorización de Riesgo (presupuesto)

Tipo de riesgo	Priorización						Total
	Intolerable		Tolerable		Aceptable		
Técnicos	2	67%	0	0%	1	20%	3
Externos	1	33%	1	50%	1	20%	3
De la Organización	0	0%	1	50%	1	20%	2
Dirección de Proyecto	0	0%	0	0%	2	40%	2
Total de riesgo	3	30%	2	20%	5	50%	100%

Dentro de análisis se puede destacar que el 30% de los riesgos son intolerables (3), el 20% son tolerables (2) y finalmente de manera similar el 50% son aceptables (5). De manera similar, se acota la tabla 6; priorización de riesgo para el caso del presupuesto

Tabla 6.- Resumen de priorización de Riesgo (cronograma)

Tipo de riesgo	Priorización						Total
	Intolerable		Tolerable		Aceptable		
Técnicos	1	25%	0	0%	1	25%	2
Externos	1	25%	0	0%	2	50%	3
De la Organización	1	25%	1	100%	0	0%	2
Dirección de Proyecto	1	25%	0	0%	1	25%	2
Total de riesgo	4	44%	1	11%	4	44%	100%

Dentro del análisis al cronograma se puede destacar que el 44% de los riesgos son intolerables (4), el 11% son tolerables (1) y finalmente de manera similar el 44% son

aceptables (4). Sin embargo, para una mejor comprensión se detallan las figuras 4 y 5 respectivamente.

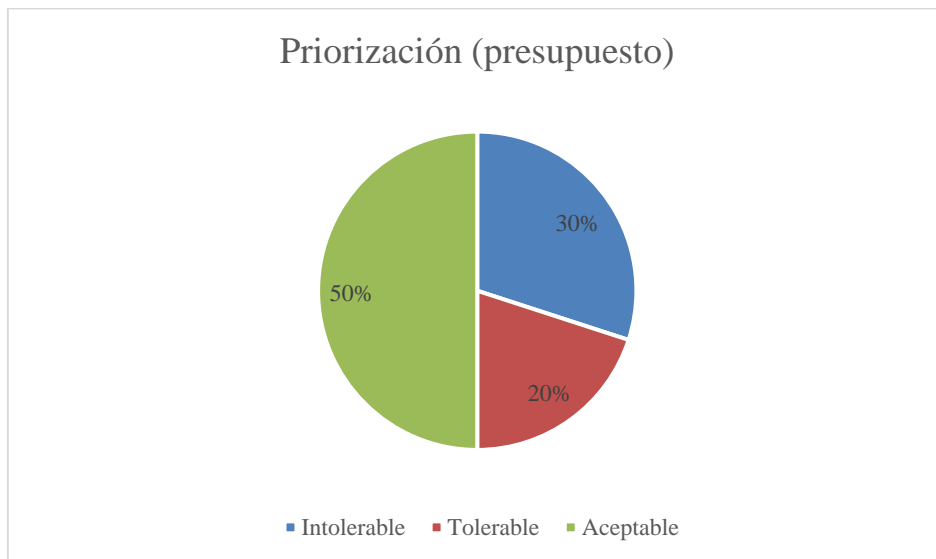


Figura 4.- Análisis de riesgos presupuesto

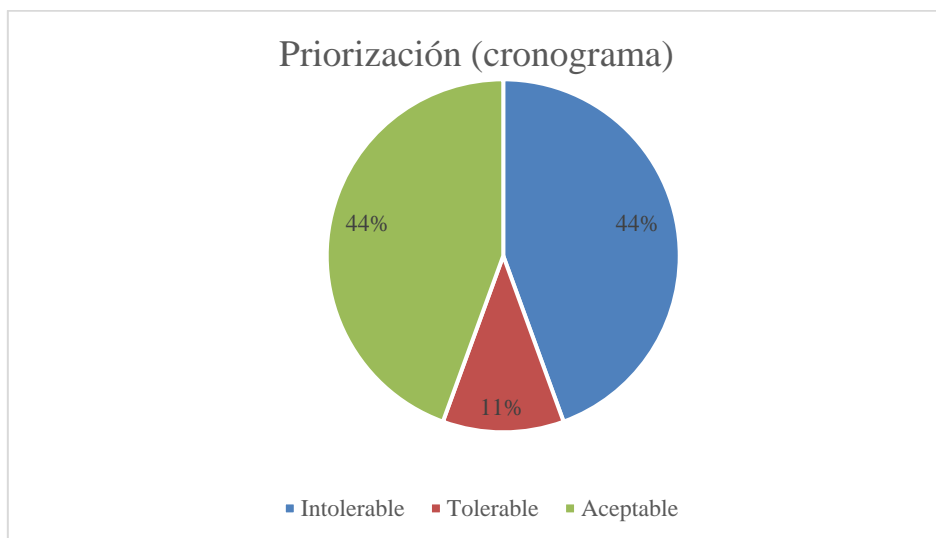


Figura 5.- Análisis de riesgos cronograma

El análisis de riesgos identifica diferentes niveles de gravedad para aspectos clave del proyecto, como el presupuesto y el cronograma. Respecto a los riesgos presupuestales, se determinó que el 30% son intolerables, el 20% tolerables y el 50% aceptables, lo que indica que, si bien existe una proporción importante de riesgos manejables, es necesario implementar estrategias de mitigación para reducir el impacto de los riesgos intolerables.

Por otro lado, el análisis de la línea de tiempo muestra una distribución similar, donde el 44% de los riesgos son intolerables, el 11% son tolerables y el 44% son aceptables. Este resultado indica que casi la mitad de los riesgos del cronograma representan un nivel de impacto crítico, que probablemente afectará la ejecución efectiva del proyecto. En general, la priorización de los riesgos indica la necesidad de un enfoque estratégico para la gestión del presupuesto y el cronograma, con énfasis en minimizar los riesgos intolerables. La implementación de planes de contingencia y el monitoreo continuo ayudarán a reducir las incertidumbres y optimizar la eficiencia del proyecto.

4.1.2 Modelación del presupuesto

A continuación, en la tabla 7 se muestran los datos de entrada para la modelación del presupuesto, para ello fue utilizada la distribución PERT, el cual toma los valores de presupuesto mínimo, más probable y presupuesto máximo, dando como resultado el valor esperado de cada una de las actividades. Para realizar la simulación fueron escogidas 5000 iteraciones, asignando una confiabilidad del 95%. El modelo que se utilizó para llevar a cabo este trabajo de grado fue determinístico, evaluando los resultados ya obtenidos en el proyecto, por esta razón el presupuesto mínimo representa el 3% del valor obtenido por el contratista, de igual forma el valor del presupuesto máximo fue tomado del costo al ser finalizado el proyecto con un excedente del 5%.

Tabla 7.- Presupuesto base del proyecto

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
<u>No</u>	<u>Rubro / Descripción</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Precio global</u>
1	Desbroce, desbosque y limpieza	ha	2,44	251,26	613,07440
2	Replanteo y Nivelación	km	7,63	857,72	6.544,40360
3	Excavación para encauzamientos	m3	8.520,00	1,84	15.676,80000
4	Excavación en sin clasificar	m3	92.574,45	2,56	236.990,59200
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado (lastre de rio)	m3	65.578,48	4,78	313.465,13440
6	Transporte para material de préstamo local (libres 500 m)	m3/km	353.171,53	0,25	88.292,88250
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	m3	18.752,54	14,30	268.161,32200
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	m3	14.064,42	19,46	273.693,61320
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en caliente de 5.00 cm de espesor	m2	48.834,75	8,68	423.885,63000
10	Riego de imprimación RC 250	l	48.834,75	1,34	65.438,56500
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, f'c=210 kg/cm2	m	15.260,00	35,17	536.694,20000
12	Acabado de la obra básica	m2	72.711,36	0,67	48.716,61120
13	Transporte de material de mejoramiento	m3/km	1.252.129,27	0,25	313.032,31750
14	Transporte de material de sub-base clase 2	m3/km	904.641,28	0,25	226.160,32000
15	Transporte para material de base clase 1A	m3/km	678.481,69	0,25	169.620,42250
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	m3/km	141.350,23	0,25	35.337,55750
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c=210 kg/cm2, cabezales y muros	m3	52,48	258,38	13.559,78240

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS

<u>No</u>	<u>Rubro / Descripción</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Precio global</u>
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c= 210 kg/cm ² , para replantillo e=0.05 m	m ³	2,58	258,38	666,62040
19	Acero de refuerzo fy=4 200 kg/cm ²	kg	4.022,72	2,07	8.327,03040
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	m	76,00	213,43	16.220,68000
21	Excavación y relleno para estructuras	m ³	304,00	4,10	1.246,40000
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto tráfico) Ancho= 0.10 m eje, bermas	m	22.891,29	1,21	27.698,46090
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m x 0,75 m)	u	85,00	236,25	20.081,25000
24	Guardacamino metálico doble	m	2.065,90	175,55	362.668,74500
25	Tanques metálicos 55 galones	u	15,00	58,43	876,45000
26	Agua para Control de Polvo	m ³	100,00	3,52	352,00000
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajístico en zonas de Deposito	m ³	80.527,28	0,57	45.900,54960
28	Control y monitoreo de material particulado	u	16,00	237,44	3.799,04000
29	Protección al trabajador	u	45,00	37,08	1.668,60000
30	Control y monitoreo de ruido	u	16,00	48,35	773,60000
31	Charlas de concentración (al personal)	u	8,00	29,42	235,36000
32	Volantes informativas	u	1.000,00	0,11	110,00000
33	Batería Sanitaria Móvil	u	16,00	423,76	6.780,16000
				TOTAL:	3.533.288,17450

Como se puede verificar el costo del proyecto es de tres millones quinientos treinta y tres mil doscientos ochenta y ocho dólares, 17450/ 100000 centavos. Es de esta manera que se categoriza los tres tipos de presupuesto en la tabla 8 que destaca el mínimo, más probable y máximo.

Tabla 8.- Presupuesto adecuado del proyecto

No.	Rubro / Descripción	Presupuesto Mínimo	Presupuesto Real (Más probable)	Presupuesto máximo	Distribución
1	Desbroce, desbosque y limpieza	\$594,68	\$613,07	\$643,73	
2	Replanteo y Nivelación	\$6.348,07	\$6.544,40	\$6.871,62	
3	Excavación para encauzamientos	\$15.206,50	\$15.676,80	\$16.460,64	
4	Excavación en sin clasificar	\$229.880,87	\$236.990,59	\$248.840,12	
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado (lastre de rio)	\$304.061,18	\$313.465,13	\$329.138,39	
6	Transporte para material de préstamo local (libres 500 m)	\$85.644,10	\$88.292,88	\$92.707,53	
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	\$260.116,48	\$268.161,32	\$281.569,39	
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	\$265.482,80	\$273.693,61	\$287.378,29	
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en caliente de 5.00 cm de espesor	\$411.169,06	\$423.885,63	\$445.079,91	
10	Riego de imprimación RC 250	\$63.475,41	\$65.438,57	\$68.710,49	
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, f'c=210 kg/cm ²	\$520.593,37	\$536.694,20	\$563.528,91	
12	Acabado de la obra básica	\$47.255,11	\$48.716,61	\$51.152,44	
13	Transporte de material de mejoramiento	\$303.641,35	\$313.032,32	\$328.683,93	

No.	Rubro / Descripción	Presupuesto Mínimo	Presupuesto Real (Más probable)	Presupuesto máximo	Distribución
14	Transporte de material de sub-base clase 2	\$219.375,51	\$226.160,32	\$237.468,34	
15	Transporte para material de base clase 1A	\$164.531,81	\$169.620,42	\$178.101,44	
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	\$34.277,43	\$35.337,56	\$37.104,44	
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c=210 kg/cm2, cabezales y muros	\$13.152,99	\$13.559,78	\$14.237,77	
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c= 210 kg/cm2, para replantillo e=0.05 m	\$646,62	\$666,62	\$699,95	
19	Acero de refuerzo fy=4 200 kg/cm2	\$8.077,22	\$8.327,03	\$8.743,38	
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	\$15.734,06	\$16.220,68	\$17.031,71	
21	Excavación y relleno para estructuras	\$1.209,01	\$1.246,40	\$1.308,72	
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto tráfico) Ancho= 0.10 m eje, bermas	\$26.867,51	\$27.698,46	\$29.083,38	
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m x 0,75 m)	\$19.478,81	\$20.081,25	\$21.085,31	
24	Guardacamino metálico doble	\$351.788,68	\$362.668,75	\$380.802,18	
25	Tanques metálicos 55 galones	\$850,16	\$876,45	\$920,27	
26	Agua para Control de Polvo	\$341,44	\$352,00	\$369,60	
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajístico en zonas de Deposito	\$44.523,53	\$45.900,55	\$48.195,58	
28	Control y monitoreo de material particulado	\$3.685,07	\$3.799,04	\$3.988,99	

No.	Rubro / Descripción	Presupuesto Mínimo	Presupuesto Real (Más probable)	Presupuesto máximo	Distribución
29	Protección al trabajador	\$1.618,54	\$1.668,60	\$1.752,03	
30	Control y monitoreo de ruido	\$750,39	\$773,60	\$812,28	
31	Charlas de concentración (al personal)	\$228,30	\$235,36	\$247,13	
32	Volantes informativas	\$106,70	\$110,00	\$115,50	
33	Batería Sanitaria Móvil	\$6.576,76	\$6.780,16	\$7.119,17	
TOTAL		\$3.427.289,53	\$3.533.288,17	\$3.709.952,58	

Con los datos del presupuesto estimados, es necesario detallar los pasos para generar la simulación; dicho procedimiento se aborda caso de las figuras 6 a 9, partiendo desde la interfaz, iteraciones, supuestos de entrada, distribución y pronóstico de salida.

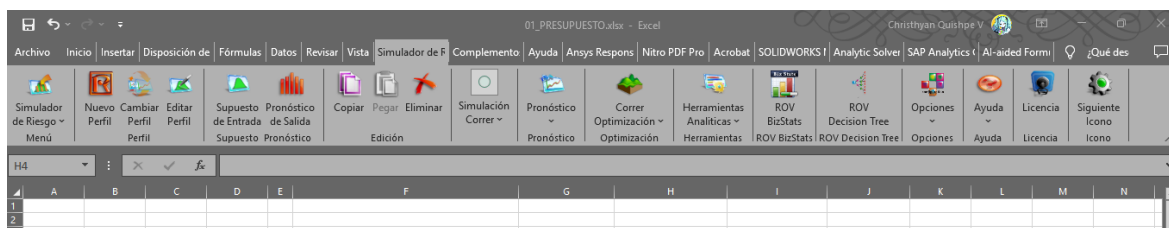


Figura 6.- Interfaz del programa

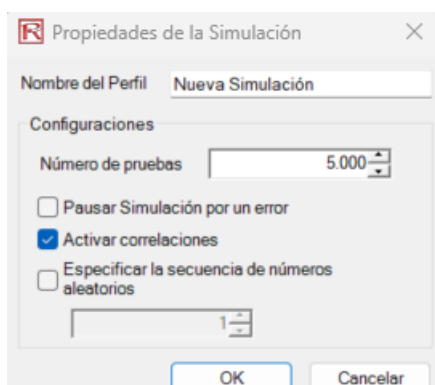


Figura 7.- Nueva Simulación y número de iteraciones

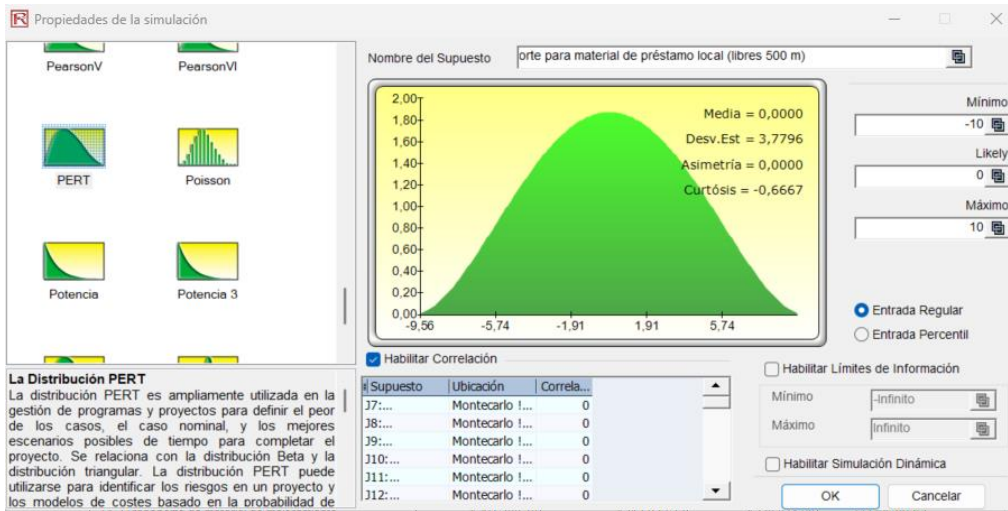


Figura 8.- Supuestos de entrada

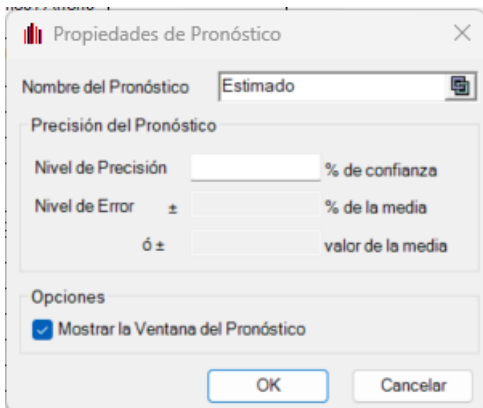


Figura 9.- Pronóstico de salida

Una vez seleccionados estos pasos se procede a la simulación tal y como se destaca en la figura 10 expuesta a continuación:

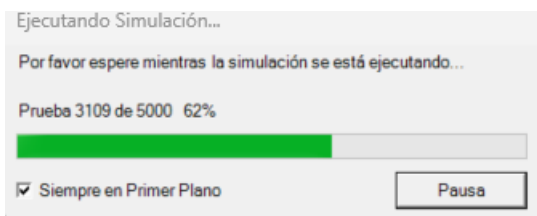


Figura 10.- Progreso de la simulación

Con los datos y la simulación efectuada se procedió a establecer la probabilidad de cumplir con el presupuesto con una certeza del 95 y en caso de ser necesario una valor de contingencia. Los datos se muestran en la figura 9 y la distribución en la figura 11 respectivamente.

Tabla 9.- Análisis de la simulación

Probabilidad de cumplir el presupuesto Base	100,00%
Certeza (95%)	\$3.585.473,00
Contingencia Necesario para cubrir el presupuesto	-\$52.184,83

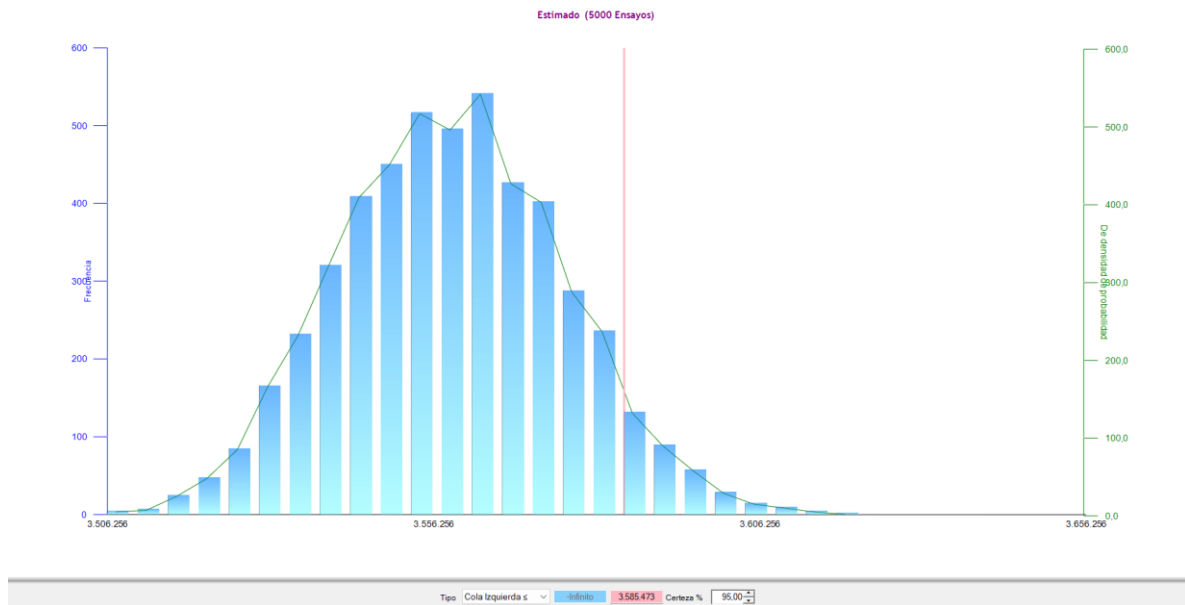


Figura 11.- Distribución en el software

El presupuesto base del proyecto, estimado en \$3.585.473,00, ha sido diseñado de manera conservadora, incluyendo un excedente de \$52.184,83. Este valor adicional garantiza que, incluso bajo un análisis con un nivel de certeza del 95%, los recursos financieros son más que suficientes para cubrir cualquier variabilidad o imprevisto que pueda surgir durante la ejecución del proyecto. Este excedente representa una ventaja

estratégica, ya que permite al equipo del proyecto contar con una reserva económica que puede ser utilizada para ajustar cambios, responder a eventos inesperados o ser reasignada a otras áreas que puedan requerir mayor atención. La disponibilidad de este margen refuerza la solidez del plan financiero y asegura la sostenibilidad del proyecto frente a riesgos identificados. Sin embargo, es importante monitorear periódicamente el desempeño financiero del proyecto para garantizar que este excedente se mantenga disponible y documentar su uso, si fuera necesario, como respaldo ante decisiones futuras o ajustes de costos. Por otro lado, es fundamental destacar que, dentro del análisis del contratista, el excedente debió ser mayor, por ende, se considera analizar el cronograma del proyecto. Cada una de las actividades de muestra en la figura 12. En caso de requerir expandir la información, revisar el **(Apéndice B)**.

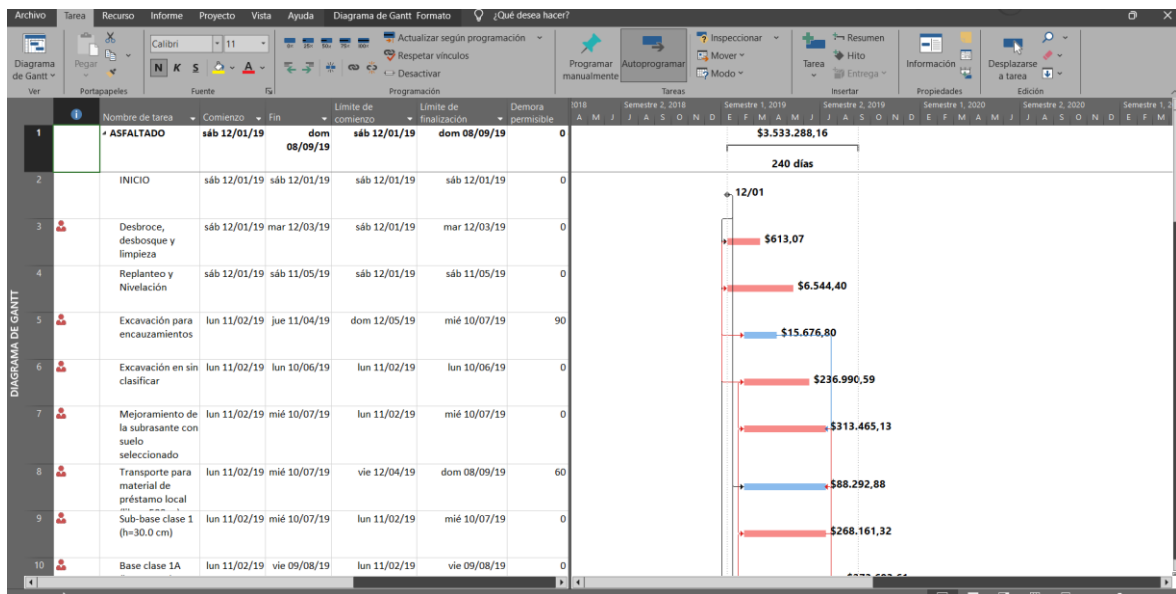


Figura 12.- Diagrama de Gantt del proyecto

El diagrama de Gantt presentado corresponde a un proyecto de pavimentación asfáltica, donde podemos observar las diferentes tareas planificadas con sus respectivas duraciones, costos y dependencias. Un aspecto relevante del análisis es que la mayoría de las actividades han sido marcadas como críticas, lo que se resalta mediante conexiones rojas.

Esto significa que estas tareas son parte de la ruta crítica del proyecto, que determina la duración total. Cualquier retraso en estas actividades tendrá un impacto directo en la fecha de finalización prevista y en caso de eliminar este problema es fundamental incrementar mano de obra, materiales y herramientas que desde luego perjudicará el proyecto.

Dentro de las actividades importantes incluyen la limpieza, el replanteo y la nivelación, la excavación, el transporte de materiales y la colocación de capas como la subrasante, la capa base y la capa de rodadura. Estas tareas son fundamentales para el éxito del proyecto, ya que son procesos claves en el desarrollo de las obras de asfalto. La presencia destacada de actividades críticas indica un cronograma ajustado, con poco margen de variación, y requiere una gestión estricta para evitar retrasos. Además, el diagrama también incluye funciones no críticas, marcadas con conexiones azules, que pueden tener cierto margen de cambio. Sin embargo, su número es pequeño en comparación con las tareas críticas, lo que enfatiza la necesidad de un monitoreo continuo del progreso del proyecto.

4.1.3 Modelación del cronograma

El cronograma del proyecto es el segundo punto de análisis dado que como se acotó, el presupuesto debió contemplar de mejor manera el desarrollo de actividades que no se interpongan en el coste total del trabajo. Esta información se destaca en la tabla 10 mostrada a continuación:

Tabla 10.- Análisis de la simulación (cronograma)

CRONOGRAMA VALORADO DE TRABAJOS				PERIODOS (MESES/SEMANAS)																																	
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL	1 MES				2 MES				3 MES				4 MES				5 MES				6 MES				7 MES				8 MES			
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	Desbroce, desbosque y limpieza	ha	2,44	251,26	613,07440	306,53720				306,53720																											
2	Replanteo y Nivelación	km	7,63	857,72	6.544,40360	1.636,10090				1.636,10090				1.636,10090				1.636,10090																			
3	Excavación para encauzamientos	m3	8.520,00	1,84	15.676,80000									7.838,40000				7.838,40000																			
4	Excavación en sin clasificar	m3	92.574,45	2,56	236.990,59200					59.247,64800				59.247,64800				59.247,64800				59.247,64800															
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionac	m3	65.578,48	4,78	313.465,13440					62.693,02688				62.693,02688				62.693,02688				62.693,02688				62.693,02688											
6	Transporte para material de préstamo local (libres 50	m3/km	353.171,53	0,25	88.292,88250					17.658,57650				17.658,57650				17.658,57650				17.658,57650				17.658,57650											
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	m3	18.752,54	14,30	268.161,32200					26.816,13220				67.040,33050				67.040,33050				67.040,33050				40.224,19830											
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	m3	14.064,42	19,46	273.693,61320									27.369,36132				68.423,40330				68.423,40330				68.423,40330				41.054,04198							
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado er	m2	48.834,75	8,68	423.885,63000													105.971,40750				105.971,40750				105.971,40750				105.971,40750							
10	Riego de imprimación RC 250	l	48.834,75	1,34	65.438,56500													16.359,64125				16.359,64125				16.359,64125				16.359,64125							
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, fc	m	15.260,00	35,17	536.694,20000																	134.173,55000				134.173,55000				134.173,55000							
12	Acabado de la obra básica	m2	72.711,36	0,67	48.716,61120									4.871,66112				9.743,32224				9.743,32224				9.743,32224				9.743,32224							
13	Transporte de material de mejoramiento	m3/km	1.252.129,27	0,25	313.032,31750					62.606,46350				62.606,46350				62.606,46350				62.606,46350				62.606,46350											
14	Transporte de material de sub-base clase 2	m3/km	904.641,28	0,25	226.160,32000									45.232,06400				45.232,06400				45.232,06400				45.232,06400				45.232,06400							
15	Transporte para material de base clase 1A	m3/km	678.481,69	0,25	169.620,42250													42.405,10562				42.405,10562				42.405,10562				42.405,10562							
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	m3/km	141.350,23	0,25	35.337,55750													8.834,38938				8.834,38938				8.834,38938				8.834,38938							
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, fc=2	m3	52,48	258,38	13.559,78240					2.711,95648				2.711,95648				2.711,95648				2.711,95648				2.711,95648											
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, fc=2	m3	2,58	258,38	666,62040					133,32408				133,32408				133,32408				133,32408				133,32408											
19	Acero de refuerzo fy=4 200 kg/cm2	kg	4.022,72	2,07	8.327,03040					1.665,40608				1.665,40608				1.665,40608				1.665,40608				1.665,40608											
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	m	76,00	213,43	16.220,68000	16.220,68000																															
21	Excavación y relleno para estructuras	m3	304,00	4,10	1.246,40000	1.246,40000																															
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto trafico) Ancho=	m	22.891,29	1,21	27.698,46090																									27.698,46090							
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m	u	85,00	236,25	20.081,25000																									20.081,25000							
24	Guardacaminos metálico doble	m	2.065,90	175,55	362.668,74500																									362.668,74500							
25	Tanques metálicos 55 galones	u	15,00	58,43	876,45000	876,45000																															
26	Agua para Control de Polvo	m3	100,00	3,52	352,00000					35,20000				88,00000				88,00000				88,00000				52,80000											
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajis	m3	80.527,28	0,57	45.900,54960													11.475,13740				11.475,13740				11.475,13740				11.475,13740							
28	Control y monitoreo de material particulado	u	16,00	237,44	3.799,04000									379,90400				949,76000				949,76000				949,76000				569,85600							
29	Protección al trabajador	u	45,00	37,08	1.668,60000	1.668,60000																															
30	Control y monitoreo de ruido	u	16,00	48,35	773,60000					77,36000				193,40000				193,40000				193,40000				116,04000											
31	Charlas de concentración (al personal)	u	8,00	29,42	235,36000					23,53600				58,84000				58,84000				58,84000				35,30400											
32	Volantes informativas	u	1.000,00	0,11	110,00000	110,00000																															
33	Batería Sanitaria Móvil	u	16,00	423,76	6.780,16000	6.780,16000																															
INVERSION MENSUAL					3.533.288,17450	28.844,92810	230.964,48518	353.381,91936	592.965,70361	725.503,15271	631.600,97251	420.533,34601	549.493,66702																								
AVANCE MENSUAL (%)					0,82	6,54	10,00	16,78	20,53	17,88	11,90	15,55																									
INVERSION ACUMULADA AL 100%					28.844,92810	259.809,41328	613.191,33264	1.206.157,03625	1.931.660,18896	2.563.261,16147	2.983.794,50748	3.533.288,17450																									
AVANCE ACUMULADO (%)					0,82	7,35	17,36	34,14	54,67	72,55	84,45	100,00																									
INVERSION ACUMULADA AL 80%					23.075,94248	207.847,53062	490.553,06611	964.925,62900	1.545.328,15117	2.050.608,92918	2.387.035,60598	2.826.630,53960																									
AVANCE ACUMULADO (%)					0,65	5,88	13,88	27,31	43,74	58,04	67,56	80,00																									

El tiempo total del proyecto es de 8 meses es decir 240 días, sin embargo, si se analiza que el desarrollo fue establecido para la pandemia es absolutamente necesario destacar que dentro del contexto se establecieron paros con alrededor de 2 meses de retraso o 60 días.

A continuación, se muestran los datos de entrada para la modelación del cronograma, para ello fue utilizada la distribución PERT, el cual toma los valores de tiempo mínimo, tiempo probable y tiempo máximo, dando como resultado el valor esperado de cada una de las actividades. Para realizar la simulación fueron escogidas 5000 iteraciones, asignando una confiabilidad del 95%. El modelo que se utilizó para llevar a cabo este trabajo de grado fue determinístico, evaluando los resultados ya obtenidos en el proyecto, por esta razón el tiempo mínimo representa el 5% del valor obtenido por el contratista, de igual forma el valor del presupuesto máximo fue tomado del costo al ser finalizado el proyecto con un excedente del 10%. La tabla 11 destaca el tiempo básico del proyecto conforme en las estimaciones del contratista.

Tabla 11.- Datos para la simulación del cronograma del proyecto

N	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>Tiempo Mínimo</u>	<u>Tiempo Real (Más probable)</u>	<u>Tiempo máximo</u>	<u>Distribución</u>
1	Desbroce, desbosque y limpieza	57	60	66	
2	Replanteo y Nivelación	114	120	132	
3	Excavación para encauzamientos	57	60	66	
4	Excavación en sin clasificar	114	120	132	
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado (lastre de río)	143	150	165	

N	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>Tiempo Mínimo</u>	<u>Tiempo Real (Más probable)</u>	<u>Tiempo máximo</u>	<u>Distribución</u>
6	Transporte para material de préstamo local (libres 500 m)	143	150	165	
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	143	150	165	
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	171	180	198	
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en caliente de 5.00 cm de espesor	114	120	132	
10	Riego de imprimación RC 250	114	120	132	
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, $f'c=210$ kg/cm ²	114	120	132	
12	Acabado de la obra básica	171	180	198	
13	Transporte de material de mejoramiento	143	150	165	
14	Transporte de material de sub-base clase 2	143	150	165	
15	Transporte para material de base clase 1A	114	120	132	
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	114	120	132	
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, $f'c=210$ kg/cm ² , cabezales y muros	143	150	165	
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, $f'c= 210$ kg/cm ² , para replantillo $e=0.05$ m	143	150	165	
19	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	143	150	165	

N	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>Tiempo Mínimo</u>	<u>Tiempo Real (Más probable)</u>	<u>Tiempo máximo</u>	<u>Distribución</u>
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	29	30	33	
21	Excavación y relleno para estructuras	29	30	33	
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto tráfico) Ancho= 0.10 m eje, bermas	29	30	33	
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m x 0,75 m)	29	30	33	
24	Guardacamino metálico doble	29	30	33	
25	Tanques metálicos 55 galones	29	30	33	
26	Agua para Control de Polvo	143	150	165	
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajístico en zonas de Deposito	114	120	132	
28	Control y monitoreo de material particulado	143	150	165	
29	Protección al trabajador	29	30	33	
30	Control y monitoreo de ruido	143	150	165	
31	Charlas de concentración (al personal)	143	150	165	
32	Volantes informativas	29	30	33	
33	Batería Sanitaria Móvil	29	30	33	
TOTAL		3335	3510	3861	

En este caso, el análisis de las figuras 12 y 14 respectivamente se acota los resultados de la distribución. En la tabla 12 para el cronograma refleja que el presupuesto base tiene una probabilidad del 94,72% que es suficiente para cumplir con los objetivos del proyecto dentro del plazo definido.

Tabla 12.- Datos para la simulación del cronograma del proyecto

Probabilidad de cumplir el cronograma Base	94,72%
Certeza (95%)	3420
Contingencia Necesario para cubrir el cronograma	90

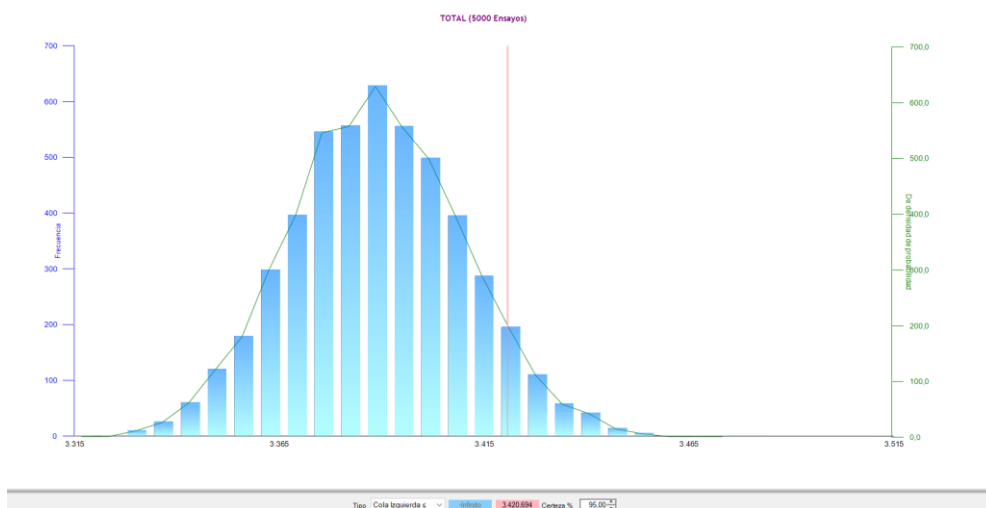


Figura 13.- Distribución del cronograma y su cumplimiento al 95%

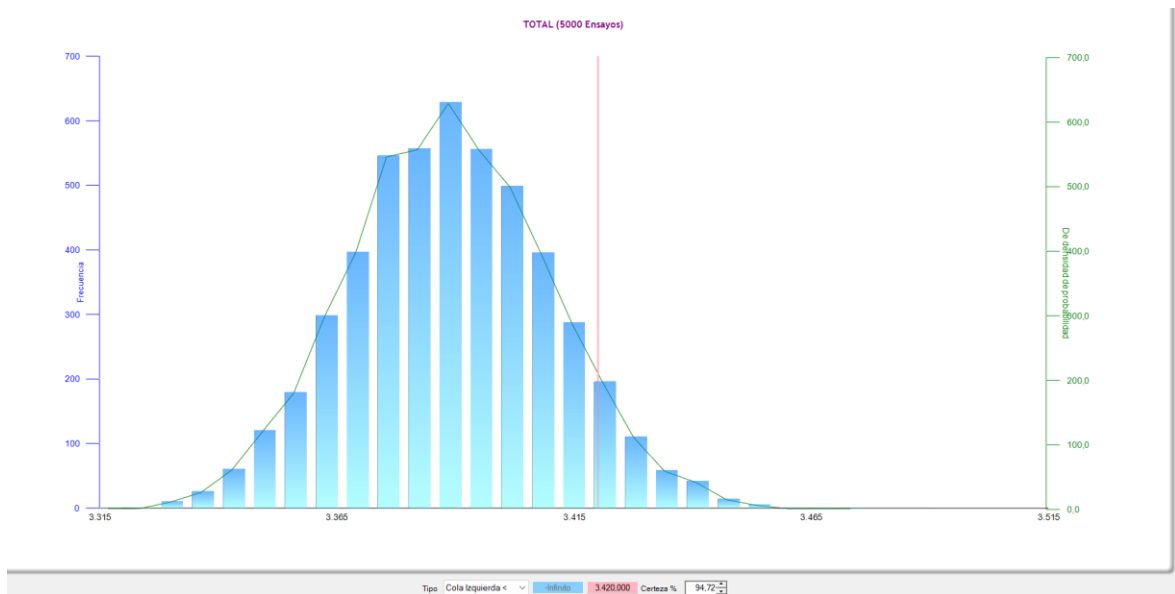


Figura 14.- Distribución del cronograma y su cumplimiento para identificar la contingencia

En las figuras se destaca que el cronograma está bien estructurado, con una muy alta confianza en su cumplimiento. Sin embargo, para alcanzar un nivel de certeza del 95%, sería necesario incorporar una contingencia adicional de 90 días. La contingencia adicional representa el margen de tiempo requerido para cubrir posibles imprevistos o variaciones que podrían surgir y afectar el cronograma. Esto significa que, aunque el plan base es sólido, existe una pequeña probabilidad de eventos inesperados que podrían alargar ligeramente el tiempo necesario para la conclusión del proyecto. Este análisis permite identificar que el cronograma es prácticamente seguro, pero su optimización final puede requerir la inclusión de esta reserva para garantizar el cumplimiento del plazo con un nivel de confianza absoluto. Es de esta manera que se deben analizar la información con base en los rubros, razón por la cual se muestra la figura 15.

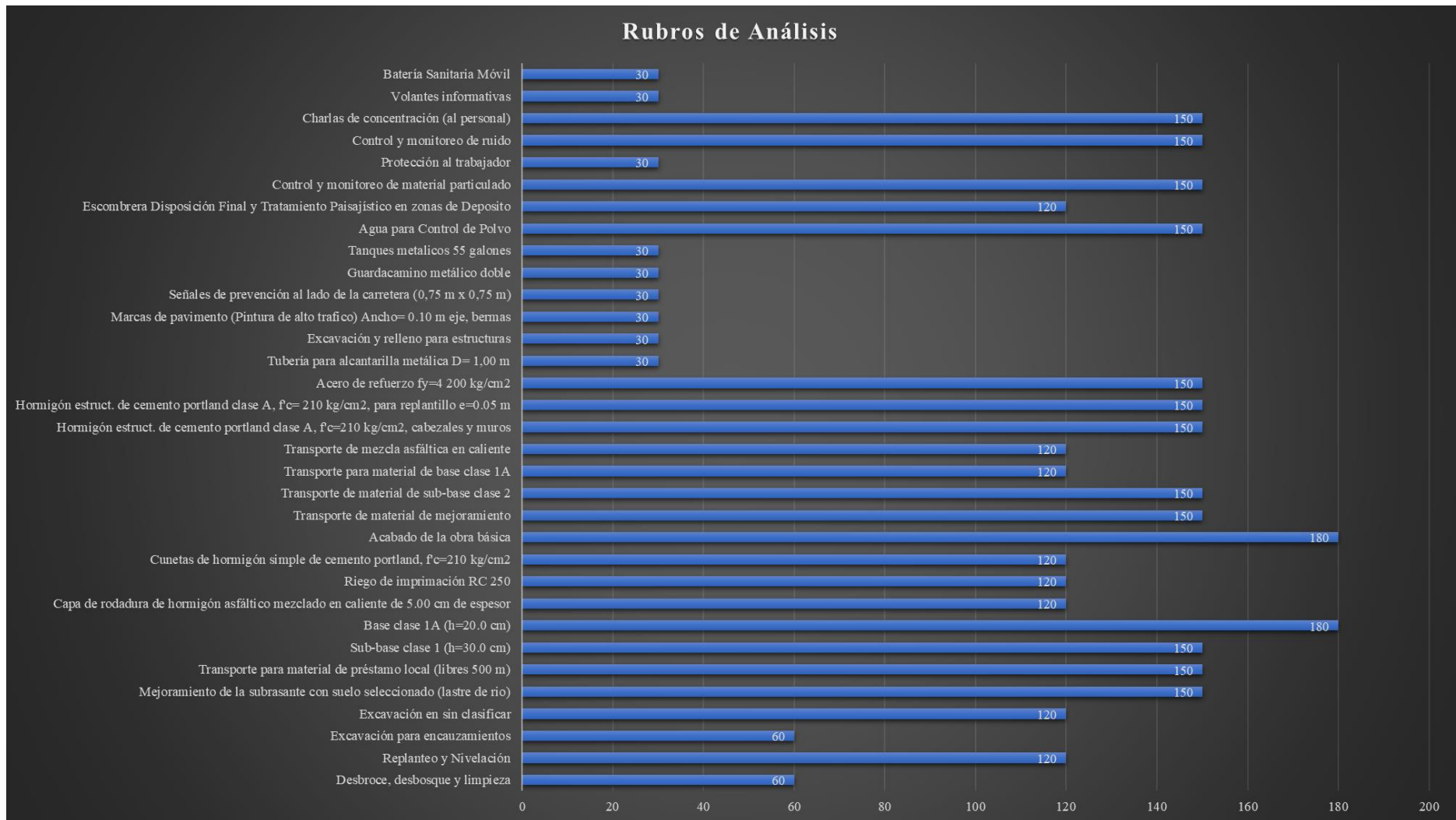


Figura 15.- Rubros de Análisis

En la figura 15 muestra la comparación de los distintos elementos de análisis relativos al proyecto y su respectiva duración en días, tomando en consideración el plazo total de 240 días para la ejecución del proyecto. Los elementos se distribuyen de diversas maneras, con períodos que van desde 30 días para actividades como control y monitoreo de ruido, protección de trabajadores y manejo de partículas, hasta 180 días para actividades principales como capas de rodadura de concreto asfáltico y acabado de trabajos de base. En general, la duración de la mayoría de los elementos analizados se establece muy por debajo del límite de 240 días, lo que sugiere que están planificados con la suficiente eficiencia como para no exceder el tiempo total disponible. Sin embargo, algunos elementos de 180 días, como la finalización de la capa de rodadura y las obras de base, ocupan una parte considerable de la duración total del proyecto, lo que podría suponer riesgos en caso de retrasos.

Además, las actividades preliminares, como desmonte, excavación, nivelación del terreno, etc., tienen una duración de 60 días, lo que significa que se espera que estas se concluyan durante la fase inicial del proyecto. Esto es necesario para que las actividades posteriores no se vean afectadas. Sin embargo, el margen de tiempo restante para otras tareas debe ser monitoreado de cerca para evitar acumulaciones o superposiciones que puedan comprometer el cumplimiento del cronograma general. Por ende, en la figura 16 se agrupan las actividades más importantes y/o las que pueden influir directamente en el cronograma.

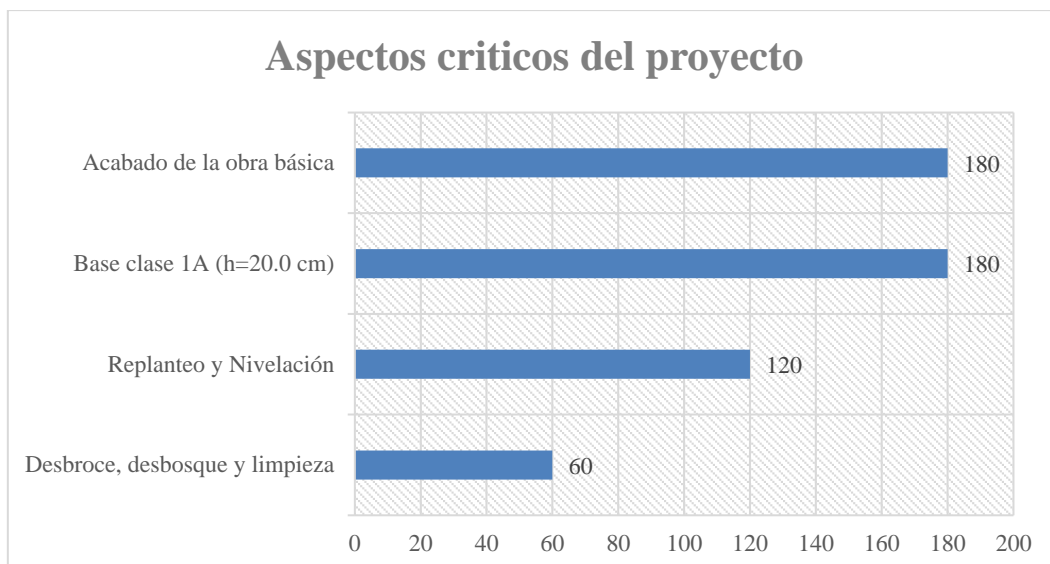


Figura 16.- Rubros críticos a considerar

Es de esta manera que se puede acotar que los rubros más críticos son aquellos con duraciones significativas y alta influencia en el cronograma total de 240 días, como la capa de rodadura de hormigón asfáltico y el acabado de la obra básica, ambos con 180 días, cuyo retraso afectaría la entrega final del proyecto. También requieren atención las actividades iniciales, como replanteo y nivelación, y desbroce y excavación, ambas de 60 días, ya que establecen las condiciones para las siguientes fases, así como el transporte de materiales y estructuras, con 150 días, que es clave para garantizar el avance continuo del proyecto.

4.2. Contraste de resultados

En este apartado se destaca la efectividad de emplear el modelo de la ruta crítica y simulación de Monte Carlo dentro del proyecto objeto de análisis. Por ende, se aborda la comparación con base en el cronograma, mismo que requiere una extensión de 90 días para su consecución completa. Es de esta manera que se emplea la figura 16 mostrada con antelación para solventar los rubros críticos dentro del proyecto y aminorar el tiempo de consecución. Se contemplan los rubros del proyecto mostrados en la tabla 13 mostrada a continuación

Tabla 13.- Estimaciones referente a cronograma y costo

Rubro	Coste	Tiempo	Relación de obreros (cuadrillas)	Estimación de presupuesto	Relación de obreros	Estimación de tiempo	Diferencia de Costo
Acabado de obra básica (AOB)	\$48.716,61	180 días	5	\$56.836,04	7	150 días	\$8.119,43
Replanteo y nivelación (RN)	\$6.544,40	120 días	5	\$8.398,61	7	110 días	\$1.854,21
Base clase 1 A (BCA)	\$273.693,61	180 días	6	\$266.091,34	7	150 días	-\$7.602,27
Total	\$328.954,62		Total	\$331.325,99		Total	\$2.371,37

Nota: para la estimación de presupuesto se establece una interpretación conocida como regla de tres compuesta. Esto se expresa en la ecuación 1 mostrada a continuación

$$\text{El costo por persona por día} = \frac{\text{coste}}{\text{obreros} * \text{tiempo}} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$\text{Presupuesto AOB} = \text{coste por persona por día} * \text{obreros} + \text{tiempo} \quad \text{Ecu. 2}$$

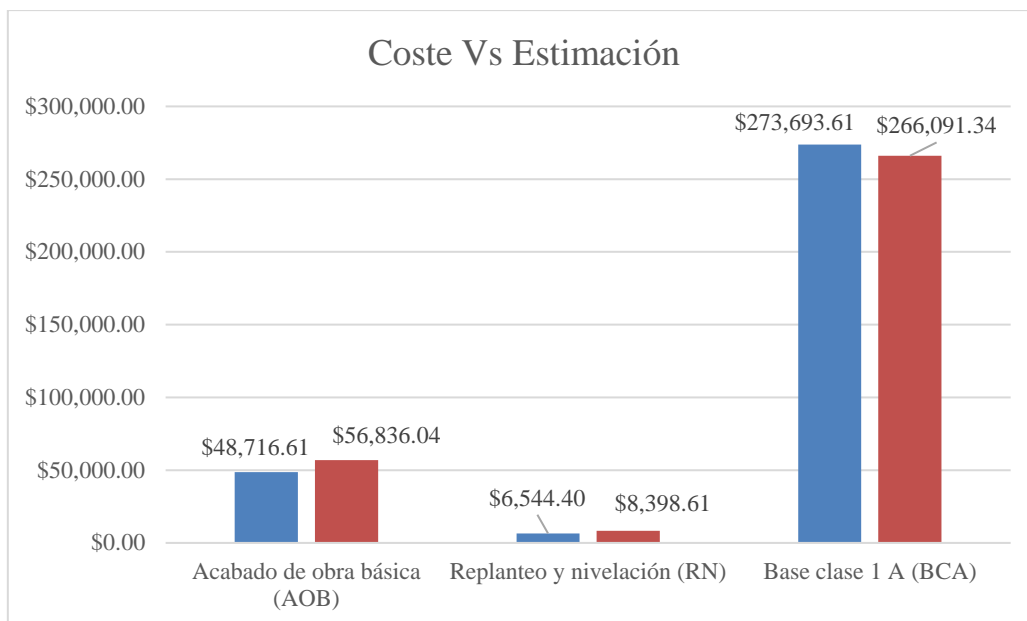


Figura 17.- Análisis de costo vs estimación

En la figura 17 se destaca el análisis que permite evaluar el impacto de los cambios en la cantidad de obreros y la reducción del tiempo de ejecución en los costos de tres actividades clave dentro del proyecto vial: el acabado de obra básica (AOB), el replanteo y nivelación (RN) y la base clase 1A (BCA). Se observa que al incrementar la cantidad de obreros en cada actividad y reducir el tiempo de ejecución, el costo total del proyecto aumenta como es evidente. En el escenario actual, el costo total de las tres actividades es de \$328.954,62, mientras que en la estimación proyectada con más obreros y menor tiempo asciende a \$331.325,99, lo que representa un incremento de \$2.371,37 en el presupuesto. Esto evidencia que, si bien la reducción del tiempo puede ser una ventaja en términos de cumplimiento de plazos, conlleva un aumento en los costos directos debido a la mayor cantidad de mano de obra involucrada, aspecto que no repercute en el presupuesto con base en la simulación de Monte Carlo.

De manera similar, analizando cada actividad por separado, el acabado de obra básica (AOB) muestra un incremento de \$8.119,43, pasando de \$48.716,61 a \$56.836,04, al

aumentar de 5 a 7 obreros (cuadrillas) y reducir el tiempo de 180 a 150 días. De manera similar, en el replanteo y nivelación (RN), el costo aumenta en \$1.854,21, pasando de \$6.544,40 a \$8.398,61, al incrementar de 5 a 7 obreros (cuadrillas) y reducir el tiempo de 120 a 110 días. Finalmente, la base clase 1A (BCA) es la actividad con mayor impacto económico, con una reducción en este caso, pasando de \$273.693,61 a \$266091,34, al aumentar de 6 a 7 obreros (cuadrillas) y reducir el tiempo de 180 a 150 días. Es de esta manera que se valora nuevamente la simulación para establecer si el cambio en el presupuesto no se comprometió el valor del contrato y permitió una reducción de tiempo acertada. Esta información se destaca en la tabla 14 y figura 18.

Tabla 14.- Estimaciones del nuevo costo

No.	Rubro / Descripción	Presupuesto Mínimo	Presupuesto Real (Más probable)	Presupuesto máximo	Distribución
1	Desbroce, desbosque y limpieza	\$613,01	\$613,07	\$613,14	
2	Replanteo y Nivelación	\$8.397,77	\$8.398,61	\$8.399,45	
3	Excavación para encauzamientos	\$15.675,23	\$15.676,80	\$15.678,37	
4	Excavación en sin clasificar	\$236.966,89	\$236.990,59	\$237.014,29	
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado (lastre de río)	\$313.433,79	\$313.465,13	\$313.496,48	
6	Transporte para material de préstamo local (libres 500 m)	\$88.284,05	\$88.292,88	\$88.301,71	
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	\$268.134,51	\$268.161,32	\$268.188,14	
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	\$266.064,73	\$266.091,34	\$266.117,95	
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en caliente de 5.00 cm de espesor	\$423.843,24	\$423.885,63	\$423.928,02	
10	Riego de imprimación RC 250	\$65.432,02	\$65.438,57	\$65.445,11	
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, f _c =210 kg/cm ²	\$536.640,53	\$536.694,20	\$536.747,87	

No.	Rubro / Descripción	Presupuesto Mínimo	Presupuesto Real (Más probable)	Presupuesto máximo	Distribución
12	Acabado de la obra básica	\$56.830,36	\$56.836,04	\$56.841,72	
13	Transporte de material de mejoramiento	\$313.001,01	\$313.032,32	\$313.063,62	
14	Transporte de material de sub-base clase 2	\$226.137,70	\$226.160,32	\$226.182,94	
15	Transporte para material de base clase 1A	\$169.603,46	\$169.620,42	\$169.637,38	
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	\$35.334,02	\$35.337,56	\$35.341,09	
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c=210 kg/cm ² , cabezales y muros	\$13.558,43	\$13.559,78	\$13.561,14	
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c= 210 kg/cm ² , para replantillo e=0.05 m	\$666,55	\$666,62	\$666,69	
19	Acero de refuerzo fy=4 200 kg/cm ²	\$8.326,20	\$8.327,03	\$8.327,86	
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	\$16.219,06	\$16.220,68	\$16.222,30	
21	Excavación y relleno para estructuras	\$1.246,28	\$1.246,40	\$1.246,52	
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto tráfico) Ancho= 0.10 m eje, bermas	\$27.695,69	\$27.698,46	\$27.701,23	
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m x 0,75 m)	\$20.079,24	\$20.081,25	\$20.083,26	
24	Guardacamino metálico doble	\$362.632,48	\$362.668,75	\$362.705,01	
25	Tanques metálicos 55 galones	\$876,36	\$876,45	\$876,54	
26	Agua para Control de Polvo	\$351,96	\$352,00	\$352,04	
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajístico en zonas de Deposito	\$45.895,96	\$45.900,55	\$45.905,14	
28	Control y monitoreo de material particulado	\$3.798,66	\$3.799,04	\$3.799,42	
29	Protección al trabajador	\$1.668,43	\$1.668,60	\$1.668,77	

<u>No.</u>	<u>Rubro / Descripción</u>	<u>Presupuesto Mínimo</u>	<u>Presupuesto Real (Más probable)</u>	<u>Presupuesto máximo</u>	<u>Distribución</u>
30	Control y monitoreo de ruido	\$773,52	\$773,60	\$773,68	
31	Charlas de concentración (al personal)	\$235,34	\$235,36	\$235,38	
32	Volantes informativas	\$109,99	\$110,00	\$110,01	
33	Batería Sanitaria Móvil	\$6.779,48	\$6.780,16	\$6.780,84	
TOTAL		\$3.535.305,97	\$3.535.659,54	\$3.536.013,10	

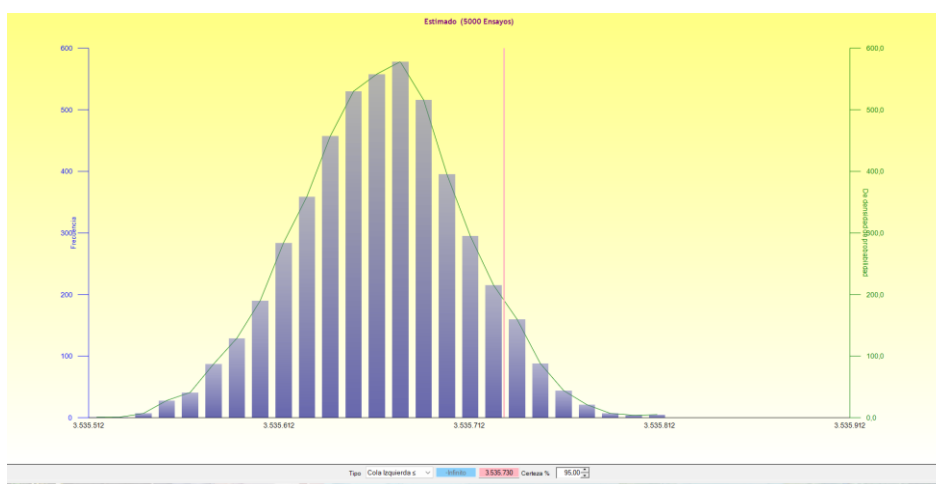


Figura 18.- Simulación de Monte Carlo

Tabla 15.- Estimaciones del excedente

Probabilidad de cumplir el presupuesto Base	100,00%
Certeza (95%)	\$3.535.730,00
Extra resultante después de cubrir el presupuesto	\$70,46

En la tabla 15 se destaca que el análisis de estos datos sugiere que la probabilidad de cumplir con el presupuesto base es 100%, lo que indica que, según las estimaciones realizadas, el costo total del proyecto no superará la cantidad presupuestada. Esto refleja una planificación financiera sólida y un control riguroso de los costos, lo que reduce el riesgo de

sobrecostos y la necesidad de ajustes adicionales en el financiamiento. Sin embargo, es importante considerar si esta certeza del 100% está basada en un modelo determinista o en un análisis probabilístico, ya que en escenarios reales siempre existe cierta variabilidad en los costos debido a factores externos como fluctuaciones en los precios de los materiales, retrasos o imprevistos en la ejecución.

El valor de certeza al 95% es de \$3.535.730,00, lo que implica que, en un análisis de riesgo con un margen de confianza del 95%, el costo del proyecto se mantiene en ese rango sin comprometer la ejecución. Este dato es crucial, ya que permite evaluar el nivel de seguridad con el que se ha proyectado el presupuesto y la capacidad de la obra para absorber posibles variaciones sin generar déficits financieros significativos. En términos de gestión de riesgos, este umbral permite garantizar que la mayoría de los escenarios posibles estarán cubiertos sin afectar la viabilidad del proyecto.

Finalmente, el extra resultante después de cubrir el presupuesto es de apenas \$70,46, lo que indica que, aunque el proyecto está ajustado al presupuesto, el margen de reserva es extremadamente reducido. Este valor es mínimo en comparación con la escala del presupuesto total, lo que implica que cualquier variación inesperada podría comprometer la estabilidad financiera del proyecto. Para optimizar este escenario, sería recomendable evaluar la posibilidad de incluir un fondo de contingencia más amplio o realizar un análisis más detallado de los riesgos potenciales para garantizar que el proyecto pueda absorber cualquier desviación sin afectar su ejecución. Una vez definido el análisis para el presupuesto se abordará el análisis del cronograma. Esto se detalla en la tabla 16 y figura 19; a la par de la tabla 17 mostradas respectivamente a continuación:

Tabla 16.- Análisis del cronograma

N	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>Tiempo Mínimo</u>	<u>Tiempo Real (Más probable)</u>	<u>Tiempo máximo</u>	<u>Distribución</u>
1	Desbroce, desbosque y limpieza	57	60	66	
2	Replanteo y Nivelación	104,5	110	121	
3	Excavación para encauzamientos	57	60	66	
4	Excavación en sin clasificar	114	120	132	
5	Mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado (lastre de río)	143	150	165	
6	Transporte para material de préstamo local (libres 500 m)	143	150	165	
7	Sub-base clase 1 (h=30.0 cm)	143	150	165	
8	Base clase 1A (h=20.0 cm)	143	150	165	
9	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en caliente de 5.00 cm de espesor	114	120	132	
10	Riego de imprimación RC 250	114	120	132	
11	Cunetas de hormigón simple de cemento portland, f'c=210 kg/cm ²	114	120	132	
12	Acabado de la obra básica	143	150	165	
13	Transporte de material de mejoramiento	143	150	165	
14	Transporte de material de sub-base clase 2	143	150	165	
15	Transporte para material de base clase 1A	114	120	132	
16	Transporte de mezcla asfáltica en caliente	114	120	132	
17	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c=210 kg/cm ² , cabezales y muros	143	150	165	

N	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>Tiempo Mínimo</u>	<u>Tiempo Real (Más probable)</u>	<u>Tiempo máximo</u>	<u>Distribución</u>
18	Hormigón estruct. de cemento portland clase A, f'c= 210 kg/cm2, para replantillo e=0.05 m	143	150	165	
19	Acero de refuerzo fy=4 200 kg/cm2	143	150	165	
20	Tubería para alcantarilla metálica D= 1,00 m	29	30	33	
21	Excavación y relleno para estructuras	29	30	33	
22	Marcas de pavimento (Pintura de alto trafico) Ancho= 0.10 m eje, bermas	29	30	33	
23	Señales de prevención al lado de la carretera (0,75 m x 0,75 m)	29	30	33	
24	Guardacamino metálico doble	29	30	33	
25	Tanques metálicos 55 galones	29	30	33	
26	Agua para Control de Polvo	143	150	165	
27	Escombrera Disposición Final y Tratamiento Paisajístico en zonas de Deposito	114	120	132	
28	Control y monitoreo de material particulado	143	150	165	
29	Protección al trabajador	29	30	33	
30	Control y monitoreo de ruido	143	150	165	
31	Charlas de concentración (al personal)	143	150	165	
32	Volantes informativas	29	30	33	
33	Batería Sanitaria Móvil	29	30	33	
TOTAL		3268	3440	3784	

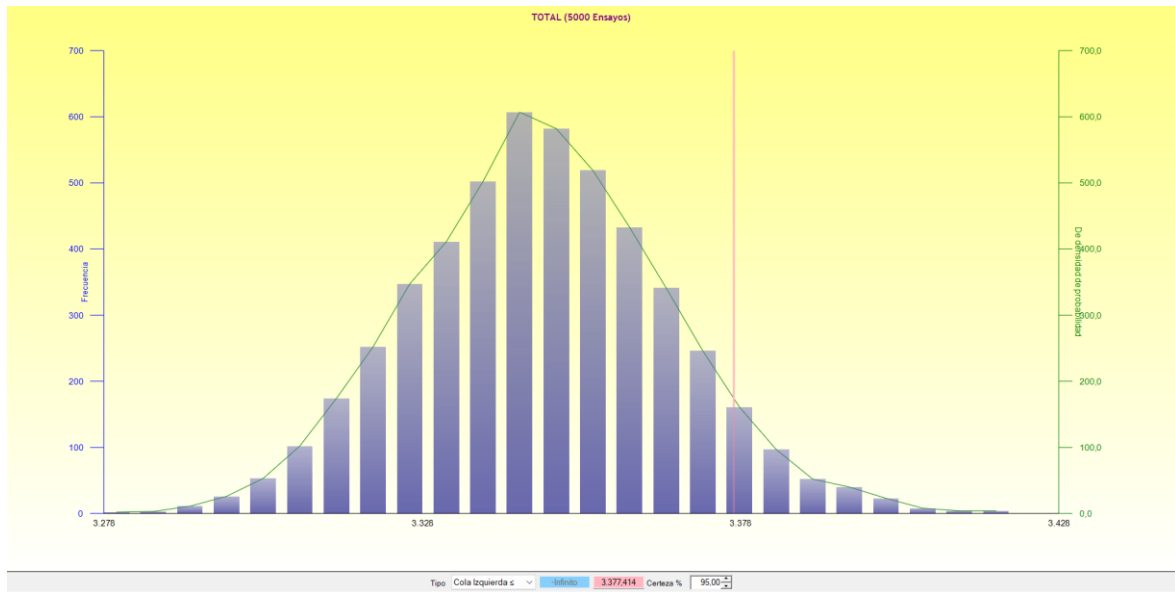


Figura 19.- Simulación de Monte Carlo

Tabla 17.- Análisis del cronograma

Probabilidad de cumplir el presupuesto Base	100
Certeza (95%)	3377
Contingencia	-27

El análisis de estos datos indica que la probabilidad de cumplir con el presupuesto base es del 100%, lo que sugiere que existe una alta confianza en que los costos se mantendrán dentro del presupuesto estimado. El valor de certeza al 95% es 3.377, lo que implica que, en un análisis de riesgo con este nivel de confianza, el presupuesto total necesario para cubrir el proyecto se mantiene dentro de este umbral. Esta estimación proporciona un respaldo financiero sólido, asegurando que incluso en escenarios menos favorables el proyecto puede continuar sin contratiempos económicos significativos. No obstante, es importante evaluar si este valor contempla adecuadamente las posibles variaciones en costos de materiales, mano de obra y logística, ya que estos factores pueden influir en la ejecución.

Por otro lado, el dato de contingencia es -27 días, lo que indica que hay un excedente de tiempo disponible en la planificación del proyecto. Este margen negativo significa que, con la optimización de recursos y tiempos, se prevé que el proyecto podría completarse 27 días antes de lo programado. Este es un aspecto positivo en términos de eficiencia, ya que permite contar con un margen adicional para posibles ajustes o contratiempos. Sin embargo, también es relevante analizar si esta reducción en el tiempo de ejecución no afectará la calidad del trabajo o generará una sobrecarga en la gestión de recursos.

4.3. Discusión

El análisis del riesgo, el presupuesto y el cronograma del proyecto evaluado muestra que la planificación basada en probabilidades es más efectiva que los métodos deterministas tradicionales. Como muestran los resultados, el 30% de los riesgos presupuestarios fueron clasificados como inmanejables, lo que significa que esa porción del presupuesto tiene una incertidumbre moderada y requiere estrategias de mitigación de recursos, materiales, mano de obra y gestión administrativa. De manera similar, el 44% de los riesgos de cronograma se consideraron intolerables, lo que indica una alta probabilidad de retrasos en la implementación. Estas cifras refuerzan la importancia de la gestión activa de riesgos, que herramientas como el Simulador de Riesgos facilitan al permitir simulaciones avanzadas de Monte Carlo.

Es necesario señalar que los métodos tradicionales basados en Excel ofrecen un enfoque determinístico en la planificación del presupuesto y cronograma. En este contexto, las hojas de cálculo permiten organizar los costos y actividades de manera estructurada, pero sin incorporar la variabilidad inherente a los proyectos de infraestructura (Cárdenas *et al.*, 2020). El proyecto a pesar de su rudimentario acercamiento mostró un excedente equivalente a \$52.184,83, lo que permitió reforzar la solidez financiera del proyecto y mejorar la

capacidad de respuesta ante imprevistos. Sin embargo, al no ser considerada suficiente según el análisis del contratista, resalta la importancia de un control financiero más detallado para que se pueda tener un rédito económico mayor (Velásquez, 2024).

En términos de tiempo, el modelo determinó que para lograr un nivel de certeza del 95%, se necesitarían incluir 90 días adicionales de contingencia, lo que significa que el tiempo necesario para completar las actividades clave se subestimó en la planificación inicial. Esto se refleja en el impacto de obras críticas como la capa de rodadura de concreto asfáltico y la base, ambas tomaron 180 días o el 75% del tiempo total disponible. Además, otras actividades necesarias, como la nivelación y cercado del terreno (60 días) y el transporte de materiales y estructuras (150 días), también juegan un papel importante en la sostenibilidad del programa. Esta es la razón por la cual no se pudo obtener una remuneración mayor para el proyecto.

Desde la perspectiva metodológica, la comparación entre Risk Simulator y Excel muestra diferencias fundamentales en la precisión del análisis. Excel, aunque ampliamente utilizado en la gestión de proyectos, tiene un enfoque determinístico, lo que implica que los valores ingresados son fijos y no reflejan la variabilidad inherente al proyecto (Cusquisiban & Martin, 2024). Según Hernández y Saldaña (2020), esta limitación puede derivar en una subestimación de riesgos y desviaciones en costos y plazos.

En el caso del presupuesto, Excel permitió el cálculo eficiente de los costos base, pero el simulador de riesgos proporcionó un enfoque más realista al establecer que la probabilidad de cumplir con el presupuesto era del 94,72%, tomando en cuenta los costos de los materiales y la incertidumbre de ejecución. De manera similar, respecto a la programación, Excel organizó las tareas en un diagrama de Gantt, pero no tuvo en cuenta las fluctuaciones en la duración de cada actividad. El simulador de riesgos determinó que, si

bien el nivel de confianza en el plan inicial es alto, aún existe un potencial importante de retrasos, lo que justifica el cambio al margen de 90 días.

Otro aspecto crucial es la identificación de actividades críticas dentro del cronograma. Torres (2013) destaca que el método CPM en Excel permite calcular la ruta crítica, pero sin incorporar variaciones en tiempos de ejecución. En el presente estudio, se evidenció que la ejecución de la capa de rodadura y la obra base (180 días cada una) representa los mayores riesgos, pues cualquier retraso en estas tareas afectará directamente la finalización del proyecto. Además, actividades previas como la nivelación del terreno (60 días) y el transporte de materiales (150 días) requieren monitoreo continuo para evitar acumulaciones que comprometan la fecha de entrega.

Es de esta manera que Risk Simulator ofrece ventajas claras en términos de análisis probabilístico, su implementación requiere mayor especialización técnica, como mencionan los autores Mendoza & Haumani (2023). En proyectos con presupuestos ajustados y cronogramas estrictos, la capacidad de prever riesgos y ajustar estrategias con base en simulaciones avanzadas puede ser un diferenciador clave. Por otro lado, Excel sigue siendo una herramienta accesible y flexible, ideal para la gestión diaria de costos y tiempos, aunque con limitaciones en el análisis de incertidumbre (LAPEYRE *et al.*, 2023).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

4.4. Conclusiones

- El análisis comparativo entre el método de la ruta crítica y la simulación de Monte Carlo reveló diferencias significativas en la gestión de costos y cronogramas. Por otro lado, el método de la ruta crítica proporciona un plan determinista basado en un tiempo fijo y una serie de actividades, la simulación de Monte Carlo permite evaluar múltiples escenarios y determinar la probabilidad de cumplir con los plazos y los costos. Se observó que la ruta crítica tiene sus limitaciones en términos de incertidumbres específicas del proyecto, como retrasos relacionados con el clima o cambios en la disponibilidad de recursos. Por el contrario, el método de Monte Carlo ofrece un enfoque más realista al incorporar variaciones en el tiempo y el costo de ejecución estimados.
- Los análisis de gestión actuales han demostrado que el uso del método de la ruta crítica en un diagrama de Gantt es una práctica común en la planificación de carreteras, pero no tiene en cuenta adecuadamente la incertidumbre inherente al proyecto. En este sentido, el método de Monte Carlo ha demostrado una mejor capacidad para predecir posibles desviaciones del cronograma y del presupuesto, lo que permite una gestión más efectiva del riesgo. Los resultados indican que el proyecto supera el presupuesto, lo que proporciona cierto grado de seguridad, mientras que el cronograma, aunque bien estructurado, requeriría 90 días adicionales de contingencia para alcanzar el nivel de confianza del 95%.
- Los resultados obtenidos muestran que la implementación conjunta del método de la ruta crítica y la simulación de Monte Carlo permite una gestión más robusta y flexible de proyectos viales. La simulación ayuda a evaluar la probabilidad de cumplir con el

presupuesto y el cronograma, identificar actividades críticas y medir riesgos. Esto facilita la toma de decisiones informadas y reduce la probabilidad de sobrecostos y demoras inesperados.

4.5. Recomendaciones

- Para los proyectos viales en Francisco de Orellana, se recomienda utilizar ambos métodos de manera complementaria. La ruta crítica debe utilizarse como base para la planificación inicial, mientras que la simulación de Monte Carlo debe utilizarse para evaluar posibles desviaciones y definir contingencias para minimizar los impactos negativos.
- Se recomienda mejorar la gestión de proyectos mediante el uso de herramientas de simulación avanzadas como Monte Carlo en combinación con métodos tradicionales como los diagramas de Gantt. Además, se debe establecer un sistema de seguimiento continuo para ajustar el programa y el presupuesto en función de las estimaciones obtenidas de las simulaciones.
- Para establecer formalmente estas metodologías en la gestión de proyectos en Francisco de Orellana, se recomienda capacitar a los equipos de trabajo en el uso de herramientas de simulación y optimización de cronogramas. Además, se debería fomentar la integración de software especializado, como simuladores de riesgos, en la planificación de proyectos viales para mejorar la precisión de las estimaciones.
- La comparación de métodos mostró que la gestión tradicional, basada únicamente en la Ruta Crítica y los diagramas de Gantt, subestima el riesgo y la variabilidad del proyecto. Por el contrario, la simulación de Monte Carlo permite una evaluación más precisa del cumplimiento del presupuesto y el cronograma. En este caso, la simulación destacó la necesidad de un margen de contingencia de 90 días para

alcanzar un nivel de certeza del 95%, lo que no se consideró en la planificación tradicional. También confirmó que el superávit presupuestario del 5% proporciona un apoyo financiero adecuado, pero que su utilización debe ser supervisada cuidadosamente.

CAPÍTULO VI. PROPUESTA

Lineamientos estratégicos para la Optimización de la Gestión de costos y tiempos en proyectos viales mediante el Método de Ruta Crítica y Simulación de Monte Carlo:

Aplicación en la Vía Paco Playa, Francisco de Orellana.

5.1. Planteamiento de la Propuesta

La planificación e implementación de proyectos viales en Ecuador enfrenta desafíos significativos en la gestión de costos y cronogramas debido a la incertidumbre inherente en la asignación de recursos, condiciones del terreno, la variabilidad climática y las limitaciones presupuestarias. Los métodos tradicionales, como la programación determinista en hojas de cálculo, proporcionan una estructura de control básica pero no incorporan la variabilidad y los riesgos asociados con la ejecución de tareas.

Así, el análisis del proyecto vial evaluado muestra que el 30% de los riesgos presupuestarios son inmanejables, lo que supone incertidumbre sobre los costos de materiales, mano de obra y gestión administrativa. De manera similar, el 44% de los riesgos de cronograma fueron clasificados como intolerables, lo que indica una alta probabilidad de retraso. La inclusión de un período de contingencia adicional de 90 días para alcanzar el nivel de certeza del 95% enfatiza la necesidad de una planificación más precisa. Por lo tanto, herramientas como los simuladores de riesgos permiten realizar simulaciones de Monte Carlo avanzadas, proporcionando un enfoque probabilístico más realista para la toma de decisiones. Es de esta manera que la propuesta a desarrollar se contempla sobre una base de objetivos enlistadas a continuación:

5.2. Objetivo

Proponer lineamientos estratégicos para la adopción de modelos de gestión basados en herramientas de análisis probabilístico en proyectos viales en Ecuador.

5.3. Metodología

La implementación de métodos avanzados como la simulación de Monte Carlo (SMC) y el Método de la Ruta Crítica (CPM) puede mejorar la precisión de la planificación de proyectos viales. Sin embargo, su uso ha sido limitado en Ecuador debido a la falta de capacitación técnica, la resistencia al cambio en los procesos administrativos y la falta de regulación que respalde su uso. Para asegurar la efectividad de estos modelos es necesario desarrollar estrategias que promuevan su integración en la gestión de proyectos, conduciendo a una mayor eficiencia y reducción de riesgos en la ejecución de las obras públicas.

En este contexto, se han propuesto lineamientos estratégicos que incluyen la incorporación de herramientas de simulación en la planificación, la capacitación en métodos probabilísticos, sistema de monitoreo basado en simulación de riesgos y el establecimiento de incentivos para la adopción de estos métodos. La aplicación de estas estrategias mejorará la asignación de recursos, optimizará los tiempos de ejecución y asegurará la viabilidad financiera de los proyectos, contribuyendo al desarrollo de una infraestructura vial más confiable y eficiente en el Ecuador.

5.4. Lineamientos estratégicos

5.4.1 Lineamiento 1: Incorporación de Herramientas de Simulación en la Planificación de Proyectos

La gestión de proyectos viales en Ecuador requiere modernizar sus procesos de planificación y control para reducir los riesgos asociados a sobrecostos y retrasos. La implementación obligatoria de herramientas de simulación como Monte Carlo y el Método de la Ruta Crítica (CPM) permitirá una estimación más precisa del costo y el tiempo de ejecución de cada proyecto, teniendo en cuenta las variaciones e incertidumbres inherentes a los proyectos de infraestructura. Las decisiones estratégicas se basarán entonces en análisis de probabilidad y no sólo en estimaciones deterministas, que probablemente subestimen los riesgos y produzcan desviaciones significativas respecto de los presupuestos y los cronogramas.

Para asegurar la estandarización del uso de estas herramientas, es necesario establecer un protocolo técnico que rijan la aplicación de software de simulación en la planificación de proyectos viales. Este protocolo debe definir criterios claros sobre la selección de herramientas, la metodología de análisis, la interpretación de los resultados y la integración de la simulación con otros sistemas de gestión de proyectos. También debe incluir directrices sobre la validación de los datos de entrada y la calibración del modelo para reflejar con precisión la realidad de la implementación de las obras de construcción de carreteras en el país.

También debería fomentarse el uso de modelos de simulación para evaluar escenarios de incertidumbre antes de la implementación del proyecto. Esto incluye la realización de análisis de sensibilidad para identificar factores críticos que impactan el éxito del proyecto y la adopción de estrategias de mitigación proactivas. La simulación determinará el impacto

potencial de las fluctuaciones en los costos de los materiales, las condiciones climáticas adversas, la disponibilidad de mano de obra y otros factores que puedan afectar el desarrollo del proyecto. Esto dará como resultado una planificación más sólida y adaptable, garantizando una gestión eficiente de los recursos y aumentando la probabilidad de cumplir con los plazos y los presupuestos.

5.4.2 Lineamiento 2: Capacitación y Formación Técnica en Métodos de Gestión Probabilística

La correcta implementación de modelos de gestión de viabilidad en proyectos viales depende en gran medida del nivel de conocimientos y habilidades de los profesionales responsables de la planificación y ejecución. En Ecuador, la adopción de herramientas de simulación avanzadas aún es limitada debido a la falta de capacitación especializada en el sector de la construcción. Por tanto, es necesario desarrollar programas de formación para ingenieros, planificadores y jefes de obra que les permitan aplicar métodos como la simulación de Monte Carlo y herramientas de software especializadas como el Simulador de Riesgos, Primavera P6 y Microsoft Project con funciones de análisis de probabilidad. Estas capacitaciones deben centrarse en el uso práctico de estos programas, incluida su aplicación a la estimación de costos, la programación y la gestión de riesgos en proyectos viales.

Además, es necesaria la integración de módulos sobre análisis de viabilidad en los cursos universitarios y programas de formación en ingeniería civil y gestión de proyectos. La enseñanza de estos conceptos en el entorno académico garantizará que los futuros profesionales estén preparados para afrontar los retos de planificar y ejecutar el trabajo bajo un enfoque basado en la incertidumbre. Para tal efecto, es necesario suscribir convenios con instituciones académicas y organizaciones especializadas en gestión de riesgos, para desarrollar material actualizado que incluya casos de estudio y aplicaciones prácticas en el

ámbito de la infraestructura vial. De igual forma, se debe tomar en cuenta la aplicación de la normatividad nacional e internacional en la planificación de las obras públicas junto con el análisis de riesgos en estos módulos.

Para fortalecer la capacitación en la aplicación de estas herramientas y asegurar estándares de calidad, se deberían establecer certificaciones oficiales en gestión de riesgos mediante análisis de probabilidad. Estas certificaciones pueden ser promovidas por organismos gubernamentales, asociaciones de ingeniería y asociaciones de construcción para garantizar que las habilidades de los profesionales del sector vial sean reconocidas en el sector. La obtención de estas certificaciones no sólo promoverá la especialización, sino que también permitirá a las empresas constructoras dar prioridad a la contratación de personal capacitado en metodologías avanzadas, promoviendo así una cultura de planificación eficiente y mitigación de riesgos en la gestión de proyectos de infraestructura vial.

5.4.3 Lineamiento 3: Creación de un Sistema de Monitoreo Basado en Simulación de Riesgos

La eficiencia de la ejecución de proyectos viales depende en gran medida de la capacidad de monitorear el avance de las obras en tiempo real y anticipar posibles desviaciones en términos de costos y plazos. En este sentido, la implementación de un sistema de control basado en herramientas de simulación permitirá una supervisión más precisa y dinámica, facilitando la identificación temprana de riesgos y la adopción de medidas correctivas oportunas. Este sistema debe integrarse en todas las fases del proyecto, desde la planificación hasta la implementación y el cierre, para garantizar que las decisiones estratégicas se basen en análisis probabilísticos que reflejen los escenarios más probables de cambios en recursos, costos y cronogramas.

Para mejorar el proceso de toma de decisiones a nivel institucional, es necesario integrar el software de simulación con los sistemas de información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE). De esta manera, las entidades responsables de gestionar y supervisar los proyectos viales dispondrán de datos actualizados y modelos predictivos para optimizar la asignación de recursos y la gestión de riesgos. La conexión entre estas herramientas con los sistemas administrativos del MTOPE permitirá la creación de reportes automatizados, la evaluación de tendencias en el desempeño del trabajo y la detección de patrones que puedan indicar retrasos o sobrecostos. Esto también garantizará la transparencia y la trazabilidad en la gestión de los fondos públicos asignados a la infraestructura vial.

Además, se debe desarrollar una plataforma de análisis de datos en tiempo real para predecir los riesgos y tomar medidas correctivas oportunas. Esta plataforma debe incluir módulos de simulación que analicen continuamente el desempeño del proyecto en función de las condiciones reales de ejecución, comparándolas con las estimaciones iniciales. Al integrar inteligencia artificial y big data, será posible identificar variaciones en la productividad, disponibilidad de materiales, condiciones climáticas y otros factores que puedan afectar el desarrollo del proyecto. Esto fortalecerá la capacidad de enfrentar contingencias y reducirá la probabilidad de incumplimiento de plazos y presupuestos, contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible de los proyectos viales en Ecuador.

5.4.4 Lineamiento 4: Incentivos para la Adopción de Métodos Probabilísticos en la Industria Vial

La implementación de modelos de análisis de factibilidad en la planificación y ejecución de proyectos viales requiere no sólo cambios metodológicos sino también apoyo institucional y financiero para motivar a las empresas del sector a adoptar efectivamente

estas herramientas. Para ello, es necesario crear incentivos financieros y fiscales para las empresas manufactureras que integren técnicas de simulación avanzadas en sus procesos de gestión. Estos incentivos pueden incluir exenciones fiscales, acceso a financiamiento preferencial o prioridad en las compras públicas para las empresas que integren herramientas de análisis de riesgos en la planificación de sus proyectos. Esta estrategia no sólo promoverá la modernización del sector, sino que también incentivará la transparencia y eficiencia en el uso de recursos para obras de infraestructura.

Además, es necesario promover la investigación y el desarrollo en el campo de la simulación de riesgos a través de convenios entre universidades, empresas constructoras y entidades gubernamentales. La colaboración entre estos sectores permitirá la creación de conocimiento técnico adaptado a la realidad del país, el desarrollo de software especializado y la formación de nuevos profesionales en métodos avanzados de planificación. Para tal efecto, es necesario fortalecer los programas de formación en ingeniería civil y gestión de proyectos con temas enfocados al análisis de factibilidad, así como financiar proyectos de investigación aplicada que exploren nuevas formas de optimizar recursos en la ejecución de obras de construcción vial. Asimismo, estos acuerdos pueden facilitar el acceso a plataformas tecnológicas y laboratorios especializados donde se realizan estudios de simulación con datos reales obtenidos de proyectos en marcha.

En última instancia, la implementación de programas piloto en proyectos viales estratégicos servirá como mecanismo de validación para demostrar la efectividad del análisis de factibilidad para optimizar costos y plazos. Estos programas deberían aplicarse a proyectos de alto impacto, como carreteras interprovinciales y vías urbanas muy transitadas, para proporcionar una evaluación práctica de cómo se puede mejorar la precisión de la planificación y la ejecución mediante el uso de la simulación de Monte Carlo y el análisis de la ruta crítica. A través de estos proyectos piloto se podrán recopilar datos reales para

demostrar los beneficios de este enfoque, preparar informes técnicos que respalden su adopción a nivel nacional y facilitar la creación de normativa que regule su aplicación en futuras obras de infraestructura en el Ecuador.

5.5. Conclusiones y prospectiva

La implementación de modelos de gestión probabilística, particularmente a través de herramientas de simulación como Monte Carlo y el Método de la Ruta Crítica (CPM), proporciona una solución efectiva para mejorar la planificación y gestión de proyectos viales en el Ecuador. Los sistemas tradicionales basados en un enfoque determinista no logran integrar la variabilidad y los riesgos inherentes a la ejecución de tareas, lo que resulta en sobrecostos, retrasos y dificultades en la asignación de recursos. El análisis de probabilidad proporciona una visión más precisa de los posibles escenarios de incertidumbre, lo que permite tomar decisiones más informadas y estratégicas durante todas las fases de un proyecto, desde la planificación hasta la implementación y el cierre.

En el futuro, la adopción generalizada del modelo de gestión de viabilidad podría cambiar radicalmente la forma en que se planifican e implementan los proyectos viales en Ecuador. Con el apoyo adecuado en términos de capacitación, incentivos financieros y desarrollo de infraestructura tecnológica, el sector de la construcción puede beneficiarse de herramientas de simulación avanzadas para minimizar los riesgos y mejorar la precisión de la asignación de recursos. Además, el énfasis en el análisis de viabilidad no sólo optimizará la ejecución de las obras, sino que también fortalecerá la confianza de los ciudadanos y las autoridades en la capacidad del país para gestionar proyectos de gran escala de manera eficiente y sostenible.

Las perspectivas a mediano y largo plazo sugieren una mayor integración de la tecnología en los procesos de gestión de proyectos viales, incluido el uso de inteligencia

artificial, big data y plataformas colaborativas para el análisis en tiempo real de los datos de implementación. Esto aumentará la previsibilidad y permitirá un control más efectivo de los costos y los plazos. Además, la construcción de una infraestructura de datos sólida en la construcción ayudará a tomar decisiones más informadas y aportará más transparencia a la gestión de los recursos públicos para obras de construcción de carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

Amazon Web Services. (s.f.). *¿Qué es la simulación de Monte Carlo?*
<https://aws.amazon.com/es/what-is/monte-carlo-simulation>.

Andrade, Á., Castro, A., Peña, C., Cisneros, J., y López, J. (2019). La diversificación económica en territorios extractivos en Ecuador: El caso de la provincia de Orellana. *FARO*.

Bilato, G. A., Rocco, C., y Tavares, A. (20 de Agosto de 2022). *Planificación de rutas en el transporte de mercancías por carretera minimizando costes logísticos y riesgos de accidentes*. <https://arxiv.org/pdf/2208.09728>

Caneiro. (2019). *Information and Modeling*.

Dasa Velasco, A. C., y Dominguez Rivera, I. J. (2019). *ANÁLISIS DE DEMORAS DE UN PROYECTO DE OBRA CIVIL*.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/cbc12819-9d1a-4a11-a8df-5bc6c68f5a55/content>

Delgado, C., Atencio, E., Herrera, R., y Muñoz, F. (Enero de 2021). *Análisis Cuantitativo de Riesgos de Proyectos de Construcción con Simulación de Monte Carlo*.
https://www.researchgate.net/publication/348807541_Analisis_Cuantitativo_de_Riesgos_de_Proyectos_de_Construccion_con_Simulacion_de_Monte_Carlo

Flores Araya, F. A. (2015). *Aplicación del método de Monte Carlo en la planificación de proyectos de Ingeniería Civil*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132649>

- Garzón Ospina, L. G. (2019). *PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL ANALISIS DEL RIESGO EN LA CONSTRUCCION DE TUNELES*. Universidad de los Andes:
https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/138ab3ff-b7c2-4a3c-a388-30c1581f89ed/content?utm_source=chatgpt.com
- Gavilán , S. A. (2005). *Simulación de Montecarlo y su aplicación a la evaluación de proyectos mineros*.
https://www.academia.edu/87772979/SIMULACION_DE_MONTECARLO_Y_SU_APLICACION_A_LA_EVALUACION_DE_PROYECTOS_MINEROS.
- Gómez, H. D., y Orobio, A. (07 de Septiembre de 2015). *Effects of uncertainty on scheduling of highway construction projects*.
https://www.redalyc.org/pdf/496/49642141020.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Higuera Bonilla, V. E. (Enero de 2015). *El estado de las vías de pavimento rígido y su incidencia en la circulación del tráfico pesado de la planta Holcim Latacunga del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/items/e84aad4e-18ef-4ec6-b4ae-0bc981c37d67>
- Izurieta, P., Vega , S., Maldonado , S., y Delgado, M. (2024). Análisis de intervenciones de Seguridad Vial para reducir accidentes de tránsito en Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 36, 112-134.
- LAPEYRE, B., PARDOUX, E., SENTIS, R., CRAIG, A., & CRAIG, F. (2023). *Introduction to Monte Carlo methods for transport and diffusion equations*. New York: Oxford University Press.

- Mendoza Ierma, Y., y Vilcapaza Huamani, J. (2023). *Tratamiento superficial utilizando Slurry Seal para el mejoramiento de la carretera Pampas de San Antonio – Mariscal*.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/151027/Mendoza_LY-Vilcanaza_HJF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y publicaciones.
- Officials American Association of State and Trans. (1993). *Guía AASHTO para diseño de estructuras de pavimentos*. <https://es.scribd.com/doc/126459232/Guia-AASHTO-93-version-en-espanol>
- Oscarina, R., y Vélez, N. (2013). *MÉTODO DEL CAMINO CRÍTICO*. República Dominicana: Editorial INTEC.
- Rojas, L. A., y Quintín, J. S. (2013). *Proyecto de aplicación en temáticas de ingeniería plan de mantenimiento para estructuras de pavimento mediante la inspección visual de daños en 5 vías de la ciudad de Villavicencio – meta*. *Journal of Chemical*.
- Team Asana. (28 de Marzo de 2024). *Cómo utilizar el método de la ruta crítica en la gestión de proyectos*. <https://asana.com/es/resources/critical-path-method>
- Torres, L. (14 de Abril de 2013). *Método de Ruta Crítica – CPM (Critical Path Method)*. <https://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/14/metodo-de-ruta-critica-cpm-critical-path-method/>
- Wrike. (2006). *¿Qué es el análisis Montecarlo en gestión de proyectos?*
<https://www.wrike.com/es/project-management-guide/faq/que-es-el-analisis-montecarlo-en-gestion-de-proyectos/>

Zable, J. (26 de Febrero de 2024). *Cómo utilizar la simulación Monte Carlo como una herramienta de gestión de proyectos*. <https://blog.minitab.com/es/c%C3%B3mo-utilizar-la-simulaci%C3%B3n-monte-carlo-como-una-herramienta-de-gesti%C3%B3n-de-proyectos>

Apéndice

Apéndice. A Entrevista al contratista de Obra

Objetivo: Realizar un análisis comparativo en la gestión de costo y tiempo mediante el método de ruta crítica y simulación de Monte Carlo en un proyecto vial en Francisco de Orellana.

1. ¿Qué pasos específicos está tomando para evitar las demoras en la autorización y expedición de permisos?

Para evitar retrasos en la expedición de autorizaciones y permisos, inicialmente nos basamos en los plazos estimados por las entidades, pero estos fueron mayores a los esperados. Por lo tanto, tuvimos que asegurar un seguimiento más riguroso mediante visitas frecuentes y ajustes en la documentación. Sin embargo, algunos permisos sufrieron retrasos, lo que afectó el inicio de algunas actividades.

2. ¿Considera que estos riesgos son manejables o requieren acciones inmediatas?

Algunos riesgos han sido manejables con medidas correctivas, pero otros han requerido acciones inmediatas. Por ejemplo, los retrasos en la entrega de materiales han generado acumulación de tareas y una reprogramación constante, afectando el flujo del trabajo. Mientras que la falta de maquinaria nos obligó a buscar alternativas de alquiler, lo que elevó costos imprevistos.

3. ¿Tiene identificadas las herramientas y tecnologías que podrían volverse obsoletas en tu proyecto?

No identificamos con suficiente anticipación las herramientas y tecnologías que podrían volverse obsoletas, lo que nos llevó a depender de equipos menos eficientes en ciertas actividades. Esto generó mayor tiempo de ejecución en tareas críticas como la compactación y extendido del asfalto, afectando la productividad esperada.

4. ¿Cómo planeó actualizarlas o sustituirlas si surge esta necesidad?

Al notar esta deficiencia, tuvimos que improvisar soluciones, como alquilar equipos modernos en vez de seguir con los propios, lo que generó costos adicionales no contemplados. Para evitar que esto siga ocurriendo, ahora estamos evaluando la adquisición de nuevas herramientas, aunque el presupuesto es un factor limitante.

5. ¿Qué protocolos sigues para evitar defectos en materiales y equipos que puedan causar accidentes?

Al inicio del proyecto, no teníamos un control estricto sobre la inspección de materiales y equipos, lo que dio lugar a algunos lotes defectuosos. Esto dio lugar a reelaboraciones en algunas áreas y retrasos en el programa. Después de descubrir el problema, implementamos inspecciones estrictas y exigimos certificación a los proveedores.

6. ¿Qué mecanismos existen para garantizar la calidad en todas las etapas del proyecto?

La calidad del proyecto se ha visto afectada en algunas etapas debido a la premura por recuperar el tiempo perdido. Aunque existen mecanismos de control, en ciertos casos el desarrollo del proceso no contempló la calidad esperada, lo que resultó en reparaciones posteriores. Para corregir esto, reforzamos la supervisión en campo y establecimos revisiones adicionales en puntos clave.

7. ¿Qué tan frecuente es la revisión de las normas internas y los estándares de calidad?

La revisión de normas internas y estándares de calidad se ha hecho de forma periódica, pero no con la frecuencia ideal. En algunos casos, las actualizaciones llegaron tarde, lo que permitió la ejecución de ciertos trabajos sin los ajustes necesarios, generando problemas en la obra.

8. ¿Cómo evaluó a los proveedores para garantizar entregas completas y puntuales?

La evaluación de proveedores se basó en referencias y disponibilidad inmediata, pero algunos no cumplieron con las entregas en tiempo y forma. Esto nos obligó a buscar opciones de último minuto, lo que afectó la planificación y los costos. Ahora estamos revisando contratos con cláusulas más estrictas para evitar estos problemas.

9. ¿Qué medidas tomas para que los subcontratistas cumplan con los estándares requeridos?

No todos los subcontratistas han cumplido con los estándares requeridos, y algunos trabajos tuvieron que ser corregidos. Aunque establecimos capacitaciones y revisiones periódicas, la falta de control estricto en ciertos momentos permitió que se ejecutaran actividades con fallas que luego generaron retrabajos.

10. ¿Qué tan involucrado está el cliente en las aprobaciones del proyecto?

El cliente ha estado involucrado en aprobaciones, pero en algunas ocasiones sus decisiones tardías generaron retrasos. No siempre hubo claridad en los cambios solicitados, lo que llevó a modificar trabajos ya avanzados, afectando la rentabilidad y el cronograma.

11. ¿Hay procedimientos para manejar retrasos en sus decisiones?

No teníamos procedimientos definidos para manejar estos retrasos en las decisiones del cliente, lo que generó tiempos muertos en algunas fases. Para minimizar esto, implementamos un sistema de respuestas rápidas con tiempos límite y reuniones más frecuentes para agilizar aprobaciones.

12. ¿Qué impacto tienen las condiciones climáticas, como lluvias abundantes, en los cronogramas del proyecto?

Las lluvias han sido un factor crítico en el cronograma, afectando directamente las actividades de movimiento de tierra y asfaltado. En varias ocasiones, el agua acumulada deterioró trabajos ya realizados, obligándonos a repetir tareas y aumentar el uso de material, impactando costos y tiempos.

13. ¿Qué estrategias tienes para mitigar estos riesgos?

Para mitigar los efectos climáticos, establecimos coberturas temporales en zonas críticas y mejoramos la planificación de actividades en función de pronósticos meteorológicos. Sin embargo, al inicio del proyecto no contemplamos márgenes de tiempo suficientes para contingencias climáticas, lo que dificultó la recuperación de los retrasos.

14. ¿Cuáles son los criterios principales para priorizar actividades dentro del proyecto?

Priorizamos actividades en función de la disponibilidad de recursos y la criticidad dentro del cronograma, pero algunos imprevistos, como la falta de materiales o cambios en el diseño del borde, alteraron la planificación inicial. Esto llevó a constantes reajustes en el orden de ejecución de tareas.

15. ¿Cómo maneja los cambios en la dirección o enfoque del proyecto?

Los cambios en la dirección del proyecto han sido un reto, ya que han implicado ajustes en diseño y planificación sin contar siempre con tiempo adicional. Esto nos ha obligado a trabajar bajo presión, lo que ha derivado en problemas de ejecución y mayor desgaste del equipo de trabajo.

16. ¿Cuáles son los principales retos logísticos que has identificado hasta ahora?

Los principales retos logísticos han sido la falta de disponibilidad de maquinaria, la demora en entrega de materiales y las dificultades de acceso a ciertas zonas. La falta de planificación adecuada en la entrega de suministros causó tiempos muertos y la necesidad de reprogramar actividades.

17. ¿Cómo minimiza los riesgos relacionados con retrasos y accidentes durante el transporte?

Para minimizar retrasos y accidentes en el transporte, establecimos rutas alternas y horarios estratégicos. Sin embargo, al inicio del proyecto no se tomaron en cuenta todas las restricciones viales, lo que provocó dificultades en la movilización de maquinaria y materiales.

18. ¿Qué protocolos implementó para garantizar la seguridad en áreas de riesgo o en mal estado?

La seguridad en áreas de riesgo ha sido un desafío, ya que en ciertas etapas del proyecto no se contaba con el equipo de protección adecuado para los trabajadores. Esto derivó en incidentes menores, los cuales nos obligaron a reforzar los protocolos de seguridad y dotar de mejor equipamiento al personal.

19. ¿Qué métodos está utilizando para realizar estimaciones precisas del presupuesto y tiempo?

Las estimaciones iniciales de presupuesto y tiempo se hicieron con base en proyectos similares y la utilización de programas “base”; Excel, pero no se contemplaron ciertos imprevistos, como retrasos en permisos, cambios en diseño y condiciones climáticas adversas. Esto ha generado desviaciones que han afectado la rentabilidad esperada.

20. ¿Cuáles son los riesgos asociados con subestimar estas estimaciones?

Subestimar las estimaciones ha resultado en un presupuesto más ajustado y en la necesidad de casi buscar financiamiento adicional para cubrir costos imprevistos. También ha generado presión sobre el equipo de trabajo para cumplir plazos reducidos, afectando la calidad en algunos procesos.

21. ¿Cómo asegura que los trabajos cumplen con los controles de calidad definidos?

Para asegurar que los trabajos cumplan con los controles de calidad, reforzamos inspecciones en cada etapa y establecimos revisiones obligatorias antes de pasar a la siguiente fase. Sin embargo, en algunas actividades la urgencia por recuperar retrasos afectó la rigurosidad del control de calidad.

22. ¿Qué medidas tomó para reducir pérdidas de tiempo y recursos por errores o trabajos repetidos?

La pérdida de tiempo y recursos por trabajos repetidos ha sido un problema recurrente debido a errores en ejecución, materiales defectuosos y cambios de diseño tardíos. Para reducir estos problemas, estamos aplicando controles más estrictos en la supervisión y capacitación del personal para minimizar errores en la obra.

Apéndice. B Gráfico Project



