



**Análisis de confiabilidad al usuario en la vía concesionada Bucaramanga –
Barrancabermeja-Yondó: Caso Ruta del Cacao (Ruta Nacional No 66)**

María Camila Aguillón Macea 1

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Civil

Asesora

Claudia Helena Muñoz, Doctor (PhD) en Ingeniería Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Aguillón Macea, 2024)
Referencia	(Aguillón Macea, 2024). <i>Análisis de confiabilidad al usuario en la vía concesionada Bucaramanga – Barrancabermeja-Yondó: Ruta del Cacao (Ruta Nacional No 66), 2024</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Elija un elemento.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A la luz de mi vida, Emmanuel.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que hicieron parte de este largo proceso que se ve reflejado finalmente en este documento, a quienes me aportaron su apoyo directa e indirectamente. A mi padre que hasta su último día me acompañó, a mi madre por la confianza, a mi hermana por sus sabias palabras, a la Universidad de Antioquia quien me abrió sus puertas y me dió la oportunidad de seguir desarrollandome como persona integra y finalmente a mi Asesora, mujer exepcional quien me acompañó paso a paso en el proceso del desarrollo de mi Trabajo de Grado.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
3 Objetivos	12
3.1 Objetivo general	12
3.2 Objetivos específicos	12
4 Marco teórico	12
5 Metodología	15
5.1 Localización del proyecto	18
6 Resultados	20
6.1 Análisis de motivos por los cuales se dieron cierres en la vía	20
6.2 Análisis de cierres mensuales durante cada año	21
6.3 Análisis de horas en total donde la vía estuvo cerrada cada mes	23
6.4 Análisis de sectores donde se dieron los mayores cierres en la vía	24
Imagen que contiene GráficoDescripción generada automáticamente	24
6.5 Resultados de índices de confiabilidad	24
Coeficiente de variación	28
7 Discusión	30
8 Conclusiones	30
9 Referencias	34

Lista de tablas

Tabla 1. Datos necesarios para realizar tabla de distribuciones de tiempo durante año 2018.	26
Tabla 2. Tabla de distribución de tiempo de viaje	27

Lista de figuras

Figura 1. Descripción geográfica del proyecto Ruta del Cacao	20
Figura 2. Recorrido concesión Ruta del Cacao	20
Figura 3. Horas de cierre por Motivos de cierre	21
Figura 4. Días por motivos de cierre	21
Figura 5. Días de cierre durante años 2016 y 2017	22
Figura 6. Días de cierre durante años 2018 y 2019	23
Figura 7. Días de cierre durante años 2020 y 2021	23
Figura 8. Días de cierre durante años 2022 y 2023	23
Figura 9. Tabla de calor de horas en que la vía estuvo cerrada por cada mes	24
Figura 10. Mapa de calor de identificación de sectores que permanecieron cerrados mayor tiempo	25
Figura 11. Representación gráfica de datos de tiempo	27
Figura 12. Gráfico de tiempos de viaje a lo largo del año 2018	29

Siglas, acrónimos y abreviaturas

INVÍAS	Instituto Nacional de Vías
ANI	Agencia Nacional de Infraestructura
RVP	Red Vial Primaria

Resumen

En el presente trabajo de grado, se llevó a cabo un estudio de confiabilidad al usuario de la vía concesionada Ruta del Cacao, perteneciente a la Ruta Nacional No 66, que conecta las ciudades de Bucaramanga (Santander), Barrancabermeja (Santander) y Yondó (Antioquia) en un tramo de 152 km, la duración de la concesión es de 25 años.

El propósito de esta concesión es gestionar el diseño, construcción, financiación, operación, mantenimiento de la vía, actividades de rehabilitación y mejora de calzadas existentes. La concesión tiene como objetivo mejorar las conexiones del oriente del país con los centros de producción petrolera más significativos del país, lo cual supone un beneficio directo para los municipios.

Para llevar a cabo el análisis de confiabilidad se realizó una revisión exhaustiva de los comunicados de prensa emitidos por el proyecto Ruta del Cacao Desde el inicio de la concesión en 2016 hasta el año 2023. Durante esta revisión, se analizaron datos relevantes como los tiempos de cierre, fechas de cierre, los motivos de los cierres y los puntos geográficos donde ocurren dichos cierres. Este análisis de datos fue fundamental para obtener distribuciones temporales que permitieran evaluar la confiabilidad de la vía para los usuarios.

El estudio también se centró en identificar patrones y tendencias relacionados con los cierres viales y su impacto en movilidad, para finalmente elaborar recomendaciones destinadas a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la vía concesionada, con el objetivo de optimizar su funcionamiento y garantizar un servicio eficiente para los usuarios.

Palabras clave: Concesión, Confiabilidad vial, Movilidad, Eficiencia, Índices de confiabilidad, eficiencia

Abstract

In the present graduate work, a study of reliability was carried out for the user of the licensed road Ruta del Cacao, belonging to the National Route No. 66, which connects the cities of Bucaramanga (Santander), Barrancabermeja (Santander) and Yondó (Antioquia) in a section of 152 km, the duration of the concession is 25 years.

The purpose of this concession is to manage the design, construction, financing, operation, maintenance of the road, rehabilitation and improvement of existing roadways. The purpose of the concession is improves the connections of the eastern part of the country with the country's most important oil production centers, which is a direct benefit to municipalities.

In order to carry out the reliability analysis, an exhaustive review was carried out of the press releases issued by la Ruta del Cacao Project From the start of the concession (2016) until the 2023 year. During this review, relevant data were analyzed such as: closure times closure dates, reasons for closures and geographical points where these closures occurred. This data analysis was fundamental to obtain a temporary distribution that will allow to evaluate the reliability of the Road for users.

The study also focused on identifying patterns and trends related to road closures and their impact on mobility, to finally develop recommendations aimed at improving the reliability and availability of the licensed track, with the aim of optimizing its operation and assure an efficient service for users.

Keywords: Concession, Reliability, Road reliability, Mobility, Efficiency, Reliability indexes, Efficiency

Introducción

En el contexto del desarrollo infraestructural de Colombia, la evaluación de la confiabilidad de las vías concesionadas desempeña un papel crucial para garantizar un sistema de transporte eficiente y seguro. En este sentido, el presente trabajo se enfoca en la evaluación de la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao a lo largo de su tiempo de operación. La Ruta del Cacao, parte integral de la Ruta Nacional No 66 que conecta las ciudades de Bucaramanga, Barrancabermeja y Yondó.

La concesión tiene como objetivo principal mejorar las condiciones de tráfico en la región, promoviendo el desarrollo económico y potenciando el empleo, así como fortaleciendo la cadena de suministro local en los municipios mencionados y sus alrededores. Sin embargo, la eficacia de esta infraestructura concesionada se ve influenciada por diversos factores, entre ellos, la disponibilidad de la vía y la ocurrencia de cierres que afectan su funcionamiento.

Durante el desarrollo de este estudio, se analizaron los comunicados de prensa emitidos por la concesión, los cuales proporcionaron información detallada sobre las fechas, horarios, motivos y puntos geográficos de cierre de la vía. Esto permitió identificar patrones y tendencias relacionados con los cierres y su impacto en la movilidad de manera integral.

Con base en los hallazgos obtenidos, se elaboraron recomendaciones orientadas a mejorar la confiabilidad y disponibilidad en la vía concesionada, con el objetivo de optimizar su funcionamiento y garantizar un servicio eficiente para los usuarios, así como promover la seguridad vial en la región.

1 Planteamiento del problema

La vía concesionada Ruta del Cacao, que conecta las ciudades de Bucaramanga, Barrancabermeja y Yondó en Colombia, es una infraestructura crucial para mejorar las conexiones del oriente del país con los centros de producción petrolera más importantes. Sin embargo, a lo largo de los años de su concesión, se han observado diversos cierres viales que han afectado la movilidad de los usuarios y la confiabilidad de la vía.

El problema radica en la falta de un análisis sistemático y exhaustivo de la confiabilidad de la vía Ruta del Cacao, así como en la ausencia de estrategias específicas para abordar los cierres viales y mejorar la disponibilidad de la vía para los usuarios. A pesar de la inversión y los esfuerzos realizados en el diseño, construcción, financiación, operación y mantenimiento de la vía, persisten desafíos significativos que afectan su funcionamiento eficiente y la satisfacción de los usuarios.

Por lo tanto, es fundamental abordar este problema mediante un análisis riguroso de la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao, así como la identificación de patrones y tendencias relacionadas con los cierres viales y su impacto en la movilidad. Este análisis permitirá desarrollar recomendaciones específicas para mejorar la gestión de la vía, optimizar su funcionamiento y garantizar un servicio confiable y eficiente para los usuarios, contribuyendo así al desarrollo económico y social de la región.

1.1 Antecedentes

A pesar de la importancia estratégica de la vía concesionada Ruta del Cacao en la conectividad del oriente colombiano y su relevancia para los centros de producción petrolera en la región, se observa una notable carencia de estudios previos que aborden de manera específica el análisis de su confiabilidad. Tras una exhaustiva revisión de la literatura disponible, no se encontraron investigaciones previas que hayan evaluado sistemáticamente la confiabilidad de esta concesión vial.

Dado el crecimiento del tráfico vehicular en la región y la importancia estratégica de la vía Ruta del Cacao para el desarrollo económico y social de las comunidades aledañas, resulta imperativo abordar esta laguna en la investigación. Un análisis riguroso de la confiabilidad de esta concesión

vial, así como la identificación de patrones y tendencias relacionados con los cierres viales, son aspectos fundamentales para mejorar la gestión y operación de la vía, garantizando un servicio confiable y eficiente para los usuarios.

2 Justificación

El presente trabajo se fundamenta en la evaluación de la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao, parte integral de la Ruta Nacional N0 66, que conecta estratégicamente las ciudades de Bucaramanga, Barrancabermeja y Yondó. Esta vía representa un corredor vital para los departamentos de Santander y Antioquia, Siendo un elemento crucial para el desarrollo económico y social de la región.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de analizar los indicadores de confiabilidad asociados con la operación de la concesión, utilizando datos proporcionados por el proyecto vial y complementados con la información encontrada en la literatura. Al centrarse en la confiabilidad del tiempo de viaje, este trabajo busca proporcionar un medio para evaluar de manera detallada la fiabilidad operativa de la vía concesionada.

La investigación reciente ha puesto énfasis en la importancia de los índices de confiabilidad del tiempo de viaje como indicadores clave para medir la eficacia y el rendimiento de las infraestructuras viales, En este sentido en análisis de la confiabilidad de la Ruta del Cacao permitirá identificar posibles deficiencias en su operación pasada y presente, así como también ofrecerá la oportunidad de formular recomendaciones orientadas a mejorar su desempeño futuro.

La aplicación de métodos y técnicas avanzadas para el análisis de la confiabilidad del tiempo de viaje permitirá una comprensión más completa de los factores que afectan la operación de la concesión, así como también proporcionará una base sólida para la toma de decisiones en materia de gestión y planificación de infraestructuras viales.

Este estudio se justifica por su contribución al conocimiento y a la mejora de la eficiencia operativa de la vía concesionada Ruta del Cacao, con el objetivo de promover un sistema de transporte más confiable y seguro para los usuarios, así como de impulsar el desarrollo económico y social de la región

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao a lo largo del tiempo de operación, identificando y analizando los factores que afectan su disponibilidad y los cierres que han impactado su funcionamiento.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los indicadores de confiabilidad de la vía desde su habilitación hasta la actualidad.
- Analizar las razones y circunstancias que han causado el cierre de la vía en diferentes periodos.
- Identificar patrones y tendencias relacionadas con los cierres y su impacto en la movilidad.
- Proponer recomendaciones para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la vía concesionada.

4 Marco teórico

Santander es un departamento situado en el noreste de Colombia, es reconocido por su variada topografía, que va desde las montañas de los Andes hasta las llanuras y valles, las zonas más bajas se encuentran alrededor de los 200 metros sobre el nivel del mar en los valles y áreas cercanas a los ríos, mientras que las partes más elevadas pueden alcanzar hasta los 3.000 metros. Santander es atravesado por la Cordillera Oriental, estando marcado por la presencia de varias fallas geológicas importantes como lo son la Falla de Bucaramanga que atraviesa la región y es responsable de eventos sísmicos significativos en el pasado, de igual manera otras fallas menores como la Falla de Vélez, la Falla de San Gil.

El terreno montañoso, las fallas geológicas, las condiciones climáticas extrema y el aislamiento de las comunidades son desafíos significativos para la ingeniería civil en la construcción y mantenimiento de sus vía, en respuesta a estos desafíos, los ingenieros han empleado una variedad de soluciones innovadoras, como la construcción de túneles, viaductos, terrazas de

contención, sistemas de drenaje y técnicas de estabilización del suelo para superar los obstáculos presentados por la topografía de la región, además: se requiere un mantenimiento constante y una supervisión cuidadosa de las vías para garantizar su seguridad y funcionalidad en un entorno tan exigente.

En Colombia la gestión vial está a cargo de la nación, los departamentos y los municipios. Cada uno de estos niveles administrativos tiene a su cargo una malla vial que va descendiendo en calidad y categoría en la medida que se pasa del primer nivel al tercero, pero que en longitud se incrementa en sentido inverso (sin embargo, no es raro encontrar que algunas carreteras nacionales tienen menores especificaciones geométricas que algunas carreteras departamentales y, a su vez, que algunos caminos vecinales tengan mejores especificaciones que algunas carreteras departamentales). (Ovalle,2016)

Actualmente se estima que el Sistema Nacional de Carreteras tiene una longitud de 215.988 km, de los cuales 17.382 (8%) hacen parte de la llamada Red de Primer Orden, gestionada por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). La Red Vial de Segundo Orden suma 44.399 km (21%) y la Red de Tercer Orden, o Veredal, cuenta con 154.207 km (71%) –incluidos cerca de 12.500 km, los cuales están bajo la gestión de los departamentos, los distritos, los municipios e INVÍAS. (Ovalle,2016)

Colombia, a diferencia de muchos países, cuenta con un importante número de centros urbanos y productivos en la parte central del territorio sobre la Cordillera de los Andes, lejos de los accesos marítimos del Océano Pacífico y del Mar Caribe. Estas particularidades del desarrollo poblacional y productivo han representado un gran reto en infraestructura para conectar el centro del territorio con los puertos marítimos teniendo en cuenta que a través de estos se moviliza no sólo un significativo número de pasajeros, sino también gran parte de la producción nacional que se exporta y los bienes importados al país para su consumo interno.

Por esto, explica la importancia que tiene la RVP no sólo para el desarrollo económico, sino también para la reducción de la pobreza en Colombia. Adicionalmente, la infraestructura vial permite y facilita el acceso a servicios sociales y de educación, por lo cual se destaca como uno de los principales instrumentos de política para impulsar el crecimiento económico y mejorar la calidad de vida, lo que en un contexto de cambio climático es crucial para hablar de un desarrollo vial sostenible. En Colombia, el modo de transporte más representativo dentro del total de movilización de carga es el carretero.

Es importante señalar que las redes de transporte son susceptibles a la interrupción del servicio debido a las variaciones en la demanda y la capacidad de la red, las cuales de hecho cambian en periodos cortos de tiempo. La interrupción del sistema de transporte puede llegar a ocasionar en algunos casos extremos, pérdidas cuantiosas y amenazar la integridad de la población debido a desastres naturales o atentados terroristas. Esta variabilidad en los tiempos de recorrido a través de la red es la que se analiza dentro del estudio de confiabilidad para la implementación de medidas de fluidez. En este sentido, la confiabilidad en el tiempo de viaje ha sido ampliamente reconocida como uno de los indicadores clave de una red de transporte (Sumalee, et. al., 2013)

La medición de la confiabilidad es fundamental para la modelación, análisis de costos y la evaluación de proyectos en general. Es importante por al menos tres razones: i) Para la formulación de políticas de transporte con la finalidad de incrementar la eficiencia en el movimiento de los flujos; ii) Para la comprensión del comportamiento del consumo entre regiones; y finalmente para la iii) Modelación de la demanda de transporte.

La importancia en la confiabilidad del tiempo de viaje depende del tipo de penalizaciones a las que se hagan acreedores los viajeros al llegar tarde. La confiabilidad es importante porque interviene en la decisión de donde, cuando y como realizar el viaje, además de influir sobre el tiempo extra utilizado para evitar los retrasos o esperas, tiempo que tiene un costo más allá de los tiempos promedio utilizados, aumentando los gastos (Margiotta, 2010).

En éste contexto, cabe señalar que el tiempo de viaje se compone del tiempo de viaje con flujo libre y el tiempo adicional de viaje. El primero se refiere al tiempo de viaje en el que el usuario no encuentra obstáculo alguno o encuentra muy poco tráfico, el segundo resulta de cada incremento en el tiempo de viaje por las variaciones en las condiciones de tráfico. Con respecto a las variaciones en las condiciones de tráfico, se pueden catalogar por un lado en predecibles, tal como las congestiones viales para las que los usuarios pueden tomar medidas preventivas y por otro lado, en impredecibles, las cuales están estrechamente relacionadas con la incertidumbre del tiempo de viaje .

El tiempo de viaje puede ser dividido en el tiempo de viaje con flujo libre y el tiempo adicional de viaje. Las variaciones en las condiciones de operación del sistema de transporte son las que ocasionan el tiempo adicional de viaje. Las variaciones pueden ser predecibles e impredecibles. De estas, la variación predecible son las ocasionadas por esquemas comunes o temporales como los patrones diarios de congestión en las denominadas horas pico, para la cual el 29 usuario puede

planificar y de esta forma cumplir con su programa de actividades. La variación impredecible es aquella que no puede ser anticipada y genera retrasos innecesarios (Carrion y Levinson, 2012).

La confiabilidad del tiempo de viaje es ahora un indicador clave para la evaluación del desempeño del tráfico. Existe una demanda creciente de incluir la confiabilidad en la evaluación y valoración de proyectos y programas de transporte, como un factor separado por derecho propio. Una cuestión importante en este proceso es la selección de distribuciones estadísticas y métricas apropiadas para modelar y representar la confiabilidad del tiempo de viaje. (Taylor & Susilawati, 2012).

5 Metodología

La metodología empleada en este estudio para evaluar la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se recopilaron y revisaron exhaustivamente los comunicados de prensa emitidos por la concesión durante un período de ocho años, desde el inicio de la operación hasta el año 2023. Estos comunicados proporcionaron información detallada sobre los cierres programados y no programados de la vía, incluyendo los puntos de cierre, las horas de cierre, la duración estimada del cierre y el motivo del mismo.

A partir de esta información, se recopilaron un total de 178 datos de cierres, que abarcan desde cierres de un día hasta cierres de un mes consecutivo, Para realizar los diferentes análisis la información se filtró por sector de cierre, fecha de cierre, días consecutivos de cierre, minutos de cierre por día, motivo de cierre y número de comunicado en caso de que se necesitara corroborar algún dato. Con los datos filtrados se realizan diferentes gráficas para lograr entender de una manera más sencilla los datos y un mapa de calor donde se puede visualizar las zonas donde más cierres se presentan desde inicios de la concesión.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica para identificar los índices de confiabilidad utilizados en el análisis de la vía. Según Lomax et al.(2003) y Van Lin et al. (2008). Las medidas de confiabilidad se pueden clasificar de la siguiente manera:

Método de Rango estadístico (Statistical Range Methods): Tiempos de viaje esperados más/menos un número de desviaciones estándar de la distribución de probabilidad

Margen de tiempo extra (Buffer Time): Representa el tiempo adicional necesario para llega a tiempo en la mayoría de los casos, Estas medidas se basan en los percentiles del 90, 95 y 80%

Indicadores de tiempo tardío (Trady Trip Measures): Representa la falta confiabilidad mediante el número de viajes que llegan tarde

Medias probabilísticas (Probabilistic Measures): Utilizan parámetros estadísticos como umbrales para determinar si los viajes experimentan retrasos o no

Debido a lo antes mencionado se considera que los percentiles de la distribución de probabilidad es una manera más realista de representar los tiempos de viaje. Para lo cual

se realizó una tabla de distribución de tiempo donde se tomaron los datos de uno de los años más críticos en cuanto a cierres totales y parciales de la vía el cual fue el año 2018. Por medio de 10 intervalos, siendo 281 el tiempo de mayor duración de viaje durante ese año y 106 el tiempo que dura un viaje de flujo libre y así sacar los percentiles necesarios para los análisis.

Con estos datos se describe la variabilidad entre el tiempo de viaje promedio con flujo libre y los tiempos de viaje aumentando los tiempos de cierre que se experimenta en cada recorrido desde el inicio hasta el final de la concesión (152km). Teniendo en cuenta que el tiempo de viaje que se determinó en cada recorrido es para el medio de transporte más tradicional como lo es el automóvil, pueden darse variaciones para otros medios de transporte como lo son las motocicletas de alto cilindraje o los transportes de carga pesada.

Con la propuesta de la utilización de los percentiles para describir el comportamiento de los tiempos de viaje surgen los márgenes de tiempo extra (buffer time). Los cuales utilizan la información proveniente de los percentiles de la distribución de tiempo. La medida no necesariamente se refiere al tiempo de viaje promedio, pero si a un porcentaje del tiempo de viaje promedio, Usualmente se utilizan las medidas de los percentiles del 80, 90 y 95% así como el **índice de tiempo extra (Buffer time index)** El índice de amortiguación o de tiempo extra se expresa como un porcentaje y su valor aumenta a medida que empeora la fiabilidad. el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 1. } \textit{Buffer time index} = \frac{\textit{Percenti 95\%}-\textit{tiempo viaje promedio}}{\textit{Tiempo de viaje promedio}}$$

El percentil 95% representa el retraso generado en los días más congestionados indicando que tan grave será la demora en los días con flujo más pesado.

El percentil 95% implica una probabilidad que uno de cada 20 viajes exceda el valor de tiempo de viaje representado por el mismo percentil, lo que significa que se llegará tarde una vez al mes. En el caso del percentil del 95%, es reportado como el tiempo total planeado el cual incluye el buffer time o mejor conocido como el tiempo planeado de viaje (**Planning Time**).

Índice de Tiempo Planificado (Planning Time Index) : Es un índice para determinar qué tan largo es el tiempo de viaje comparado con el tiempo de viaje con flujo libre. Se utiliza el percentil del 95% puesto que este representa la peor situación incluyendo retardos atípicos y esperados. Por su construcción este índice puede compararse directamente con el Planning Time, el cual es una medida de la congestión promedio que se calcula como sigue:

$$\text{Ecuación 2. } \textit{Planing time index} = \frac{\textit{Percentil 95\%}}{\textit{Tiempo de viaje con flujo libre}}$$

Coefficiente de variación se refiere a una medida de dispersión la cual describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Dado que no presenta unidades puede ser utilizado en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos con diferentes medias. Al analizar los tiempos de viaje se puede tener una idea más clara de las tendencias y características del desempeño de mejor forma, que simplemente utilizando la desviación estándar, sin tomar en cuenta la longitud del viaje. De esta forma es una medida que nos permite comparar y discutir entre una variedad de viajes con diferentes longitudes (Lomax et. al., 2003).

Desde un punto de vista del recorrido los tiempos de viaje pueden variar. Por lo tanto, los tiempos de tránsito pueden ser analizados como la relación entre la desviación estándar y el tiempo medio de viaje, conocida como el **coeficiente de variación**. Un alto valor en el CV significa que existe heterogeneidad en los valores de la variable en cuestión. Valores pequeños, reflejan homogeneidad en los valores de la variable. El CV se calcula como sigue:

$$\text{Ecuación 3 } \textit{Coeficiente de variación} = \left(\frac{\textit{Desviación estandar}}{\textit{Tiempo promedio de viaje}} \right) * 100$$

La eficacia es otro indicador que confiabilidad donde podemos revisar la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera, en este caso de la operatividad de la vía

$$\text{Ecuación 4. } \textit{Eficacia} = \frac{\textit{Días del año en que la vía estuvo habilitada}}{\textit{Días del año}}$$

El resultado será un porcentaje, el cual podremos valorar en función de una tabla de percentiles, de manera que, según el porcentaje obtenido, se le otorga una puntuación entre 0, muy ineficaz, y 1, muy eficaz.

5.1 Localización del proyecto

La Ruta del Cacao está ubicada en el nordeste de Colombia, específicamente en los departamentos de Santander y Antioquia. Esta vía, perteneciente a la Ruta Nacional No 66 y bajo la firma de concesión Estructural Plural Cintra – Concesia, establece una conexión estratégica entre las ciudades de Bucaramanga, Barrancabermeja y Yondó. Con una longitud de 152 km, la Ruta del Cacao atraviesa una región reconocida por su relevancia económica, así como por su destacada belleza natural y valiosa herencia cultural.

Su ubicación estratégica la convierte en un eje fundamental para el transporte de bienes y personas, promoviendo el desarrollo socioeconómico de la región y facilitando la integración entre centros urbanos clave y áreas de producción. (Ver figura 1)

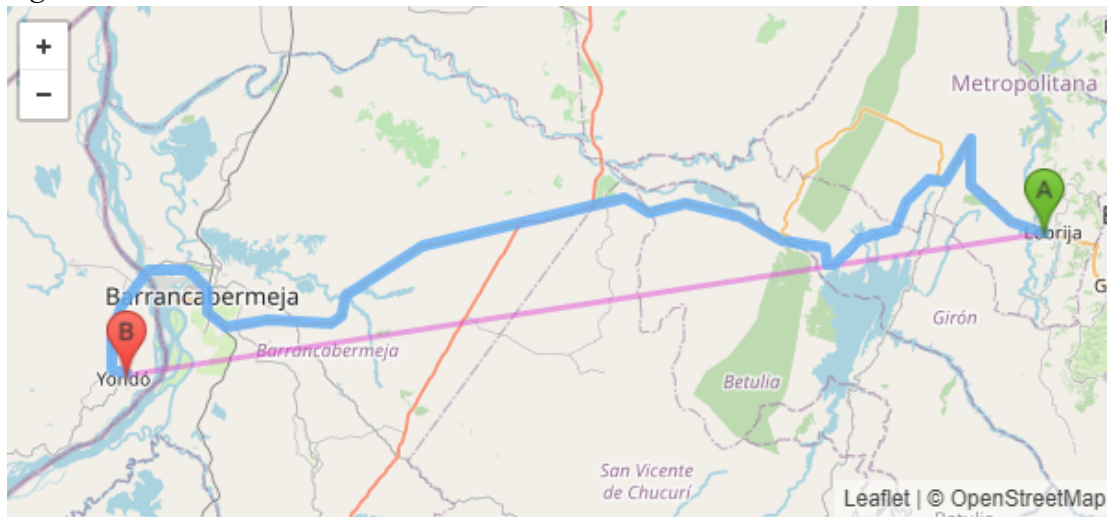
Figura 1. Descripción geográfica del proyecto Ruta del Cacao



Nota. Fuente <https://rutadelcacao.com.co/descripcion-del-proyecto>. (Ruta del Cacao)

El tiempo determinado de recorrido por Ref <https://co.lasdistancias.net/> desde la Unidad Funcional 1 hasta la 9 es de 1h 46 min (106 min)

Figura 2. Recorrido concesión Ruta del Cacao



Nota. Fuente <https://co.lasdistancias.net/> .

6 Resultados

6.1 Análisis de motivos por los cuales se dieron cierres en la vía

Las figuras 3 y 4 representan el número de horas durante las cuales la vía estuvo cerrada debido a diferentes motivos y el número de días en que la vía estuvo cerrada por los diferentes motivos. Los datos recopilados abarcan un período de tiempo específico y proporcionan información valiosa sobre las causas principales de cierre de la vía durante el periodo 2016 al 2023 de la concesión.

Figura 3. Horas de cierre por Motivos de cierre

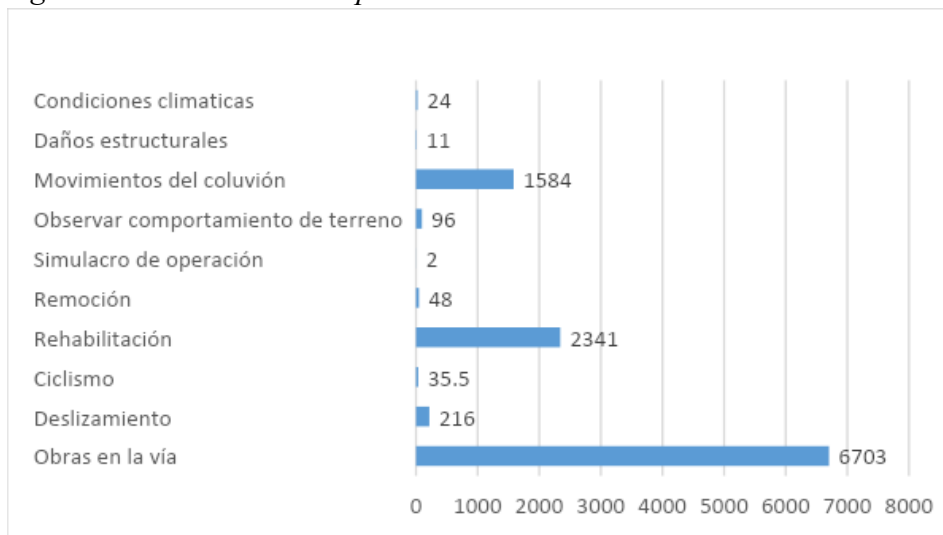
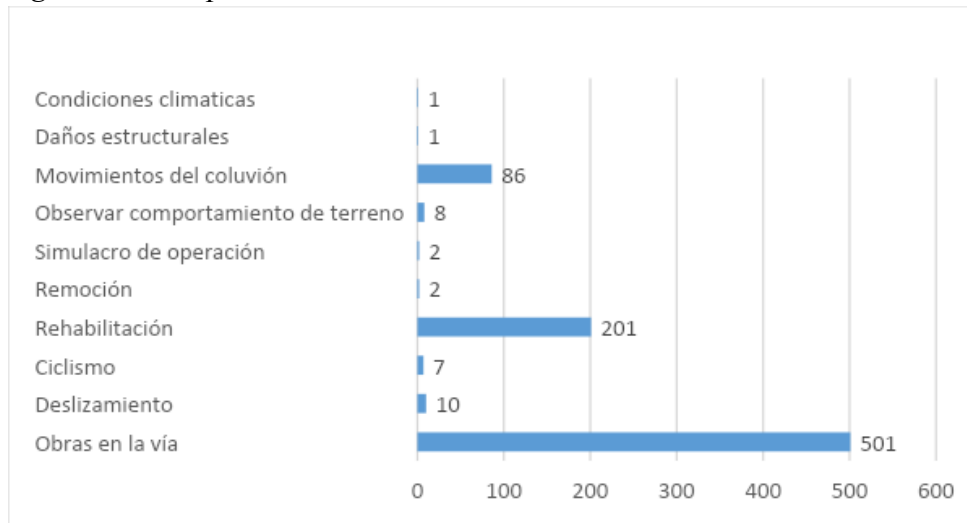


Figura 4. Días por motivos de cierre



Para volver más sencilla la forma de relacionar los motivos de cierres se filtraron los diferentes motivos y se reducen a nombres en general como “las obras en la vía” que incluyen labores como ubicaciones de barreras metálicas, cortes de carril, extendido de carpeta asfáltica, encole y descole, actividades especiales como arreglos de tuberías dañadas de la empresa Ecopetrol o cambios de tuberías, entre otras. “Ciclismo” son actividades que se realizan anualmente donde diferentes organizaciones crean carreras promoviendo el deporte nacional e internacional y esta al ser una vía principal es utilizada para lo mismo. La “Rehabilitación” incluye actividades como repintado de líneas, parcheo y sello de fisuras, entre otros.

Las obras en la vía fue el motivo por el cual la vía durante este periodo de tiempo tuvo mayores cierres, incluyendo cierres parciales con disminución de carril, así como cierres totales con desvíos programados.

6.2 Análisis de cierres mensuales durante cada año

En las Figura 5,6,7, y 8 podemos observar los días en que se dieron cierres durante cada mes, los datos se toman de los comunicados de prensa, siendo los años 2017 y 2018 donde más cierres se dieron desde la concesión y el año 2022 el que menos. Si relacionamos estas gráficas con la

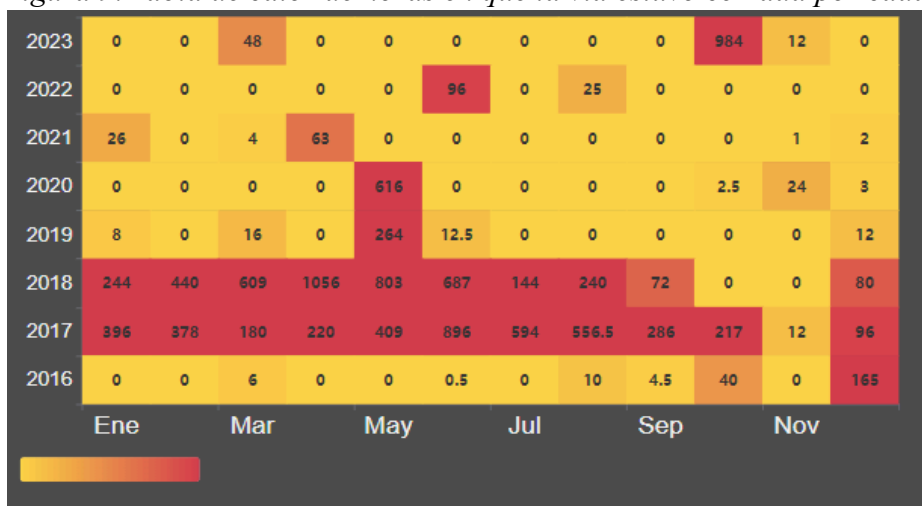
Figura 8. Días de cierre durante años 2022 y 2023



6.3 Análisis de horas en total donde la vía estuvo cerrada cada mes

La tabla de calor (*Figura 9.*) muestra el número de horas en las que la concesión Ruta del Cacao estuvo cerrada en diferentes puntos o sectores durante cada mes y año, siendo el rojo el color que indica mayores horas de cierres y el amarillo más claro indica un menor número de horas de cierre, cierres que se dieron durante menos de una hora o donde no se dieron cierres. Cabe destacar que estas horas son acumuladas en los diferentes puntos de cierre simultáneamente.

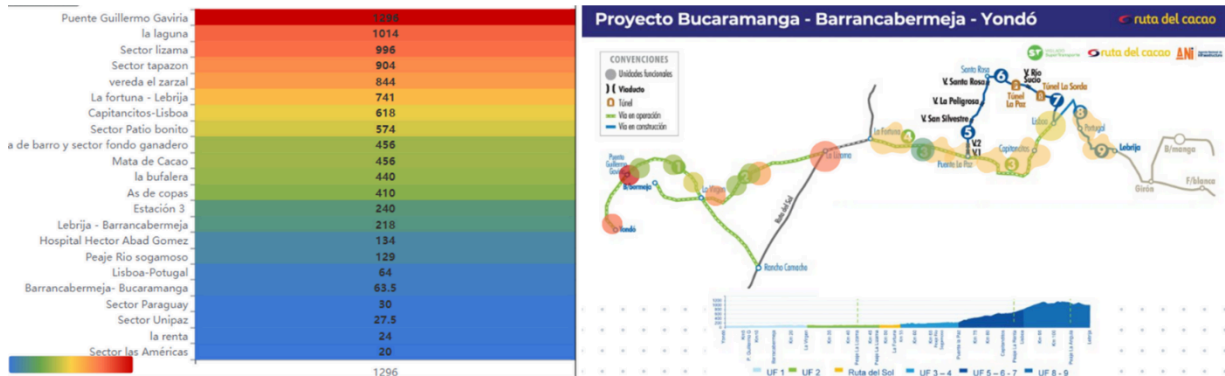
Figura 9. Tabla de calor de horas en que la vía estuvo cerrada por cada mes



6.4 Análisis de sectores donde se dieron los mayores cierres en la vía

En la *figura 10* se puede observar un mapa de calor donde se identifican los sectores que tuvieron mayores tiempos de cierres en todo el tramo concesionado, siendo el sector con mayores cierres el Puente Guillermo Gaviria, Ubicado entre en municipio de Yondó y Barrancabermeja, esto debido a diferentes motivos, como lo son rehabilitaciones, demarcaciones, reparcheos, etc . Entre los sectores de la fortuna y Lisboa, se dan cierres consecutivos, pero de menor tiempo, en su mayoría por condiciones climáticas, movimientos de coluvión, que implican remoción de escombros

Figura 10. Mapa de calor de identificación de sectores que permanecieron cerrados mayor tiempo



6.5 Resultados de índices de confiabilidad

Para realizar los análisis de índices de confiabilidad encontrados en la literatura fue necesario inicialmente realizar una tabla de distribución de tiempo para hallar los percentiles que se deben reemplazar en los índices. Los datos tomados para realizar este análisis fueron los del año 2018, debido a que fue uno de los años en que más cierres se dieron, también se necesitó volver a realizar un estudio minucioso de cada uno de los comunicados de este año, donde se tomaron los tiempos de cierre en las diferentes fechas y sectores, en este caso no se hicieron aproximaciones de minutos para poder llegar a tener datos más precisos.

Se sabe inicialmente que el tiempo de viaje sin cierres y con flujo libre es de 1 h 46 min (106 min), en este caso se trabajó con minutos el cual será tomado como el punto medio, se realizaron 10 intervalos, los datos se organizaron de la siguiente manera.

Tabla 1. Datos necesarios para realizar tabla de distribuciones de tiempo durante año 2018

Día	Tiempo de viaje (min)	Día	Tiempo de viaje (min)	Día	Tiempo de viaje	Día	Tiempo de viaje	Día	Tiempo de viaje	Día	Tiempo de viaje
1-ene-18	126	1-feb-18	126	1-mar-18	186	1-abr-18	106	1-may-18	141	1-jun-18	146
2-ene-18	126	2-feb-18	106	2-mar-18	186	2-abr-18	161	2-may-18	141	2-jun-18	146
3-ene-18	126	3-feb-18	106	3-mar-18	141	3-abr-18	161	3-may-18	141	3-jun-18	106
4-ene-18	126	4-feb-18	106	4-mar-18	106	4-abr-18	161	4-may-18	141	4-jun-18	106
5-ene-18	126	5-feb-18	106	5-mar-18	141	5-abr-18	161	5-may-18	141	5-jun-18	146
6-ene-18	106	6-feb-18	106	6-mar-18	141	6-abr-18	161	6-may-18	106	6-jun-18	146
7-ene-18	106	7-feb-18	106	7-mar-18	141	7-abr-18	161	7-may-18	106	7-jun-18	146
8-ene-18	106	8-feb-18	106	8-mar-18	141	8-abr-18	106	8-may-18	106	8-jun-18	146
9-ene-18	106	9-feb-18	106	9-mar-18	141	9-abr-18	161	9-may-18	106	9-jun-18	146
10-ene-18	106	10-feb-18	106	10-mar-18	141	10-abr-18	161	10-may-18	106	10-jun-18	106
11-ene-18	126	11-feb-18	106	11-mar-18	106	11-abr-18	161	11-may-18	106	11-jun-18	106
12-ene-18	126	12-feb-18	106	12-mar-18	161	12-abr-18	161	12-may-18	106	12-jun-18	106
13-ene-18	126	13-feb-18	106	13-mar-18	161	13-abr-18	161	13-may-18	106	13-jun-18	106
14-ene-18	126	14-feb-18	106	14-mar-18	161	14-abr-18	161	14-may-18	106	14-jun-18	106
15-ene-18	126	15-feb-18	106	15-mar-18	161	15-abr-18	106	15-may-18	151	15-jun-18	106
16-ene-18	126	16-feb-18	106	16-mar-18	161	16-abr-18	156	16-may-18	151	16-jun-18	106
17-ene-18	126	17-feb-18	106	17-mar-18	161	17-abr-18	156	17-may-18	151	17-jun-18	106
18-ene-18	126	18-feb-18	106	18-mar-18	106	18-abr-18	156	18-may-18	151	18-jun-18	106
19-ene-18	126	19-feb-18	146	19-mar-18	106	19-abr-18	156	19-may-18	151	19-jun-18	106
20-ene-18	126	20-feb-18	146	20-mar-18	161	20-abr-18	156	20-may-18	106	20-jun-18	106
21-ene-18	126	21-feb-18	146	21-mar-18	161	21-abr-18	156	21-may-18	151	21-jun-18	106
22-ene-18	126	22-feb-18	146	22-mar-18	281	22-abr-18	106	22-may-18	151	22-jun-18	106
23-ene-18	126	23-feb-18	146	23-mar-18	161	23-abr-18	141	23-may-18	151	23-jun-18	106
24-ene-18	126	24-feb-18	146	24-mar-18	161	24-abr-18	141	24-may-18	151	24-jun-18	106
25-ene-18	126	25-feb-18	106	25-mar-18	106	25-abr-18	141	25-may-18	151	25-jun-18	106
26-ene-18	126	26-feb-18	151	26-mar-18	161	26-abr-18	141	26-may-18	151	26-jun-18	106
27-ene-18	126	27-feb-18	151	27-mar-18	161	27-abr-18	141	27-may-18	106	27-jun-18	106
28-ene-18	126	28-feb-18	151	28-mar-18	161	28-abr-18	141	28-may-18	146	28-jun-18	106
29-ene-18	126			29-mar-18	106	29-abr-18	106	29-may-18	146	29-jun-18	106
30-ene-18	126			30-mar-18	106	30-abr-18	141	30-may-18	146	30-jun-18	106
31-ene-18	126			31-mar-18	106			31-may-18	146		

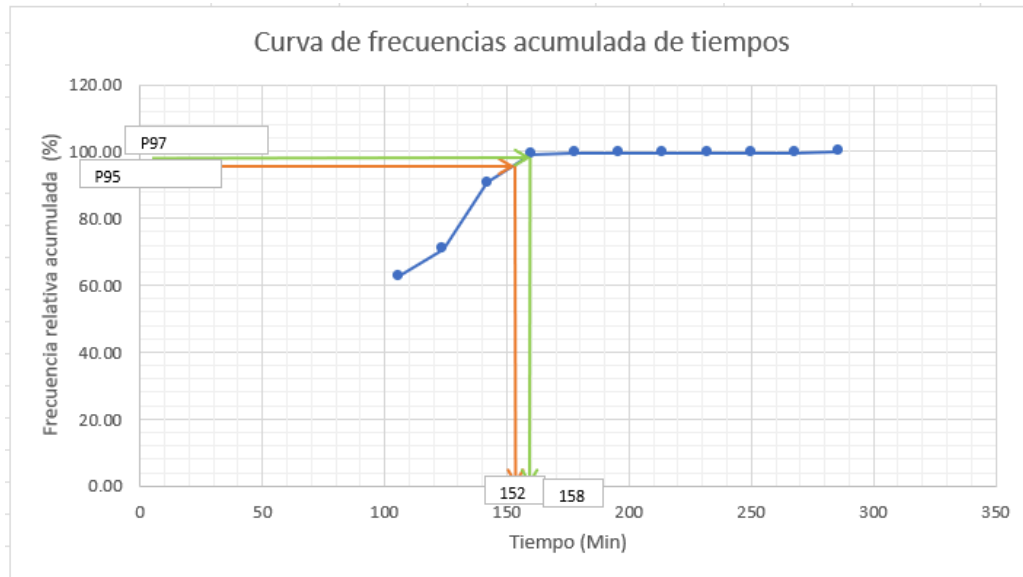
Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
1-jul-18	106	1-ago-18	106	1-sep-18	106	1-oct-18	106	1-nov-18	106	1-dic-18	106
2-jul-18	106	2-ago-18	106	2-sep-18	106	2-oct-18	106	2-nov-18	106	2-dic-18	106
3-jul-18	106	3-ago-18	106	3-sep-18	106	3-oct-18	106	3-nov-18	106	3-dic-18	106
4-jul-18	106	4-ago-18	106	4-sep-18	106	4-oct-18	106	4-nov-18	106	4-dic-18	106
5-jul-18	106	5-ago-18	106	5-sep-18	126	5-oct-18	106	5-nov-18	106	5-dic-18	106
6-jul-18	106	6-ago-18	106	6-sep-18	106	6-oct-18	106	6-nov-18	106	6-dic-18	106
7-jul-18	106	7-ago-18	106	7-sep-18	106	7-oct-18	106	7-nov-18	106	7-dic-18	106
8-jul-18	106	8-ago-18	106	8-sep-18	106	8-oct-18	106	8-nov-18	106	8-dic-18	106
9-jul-18	136	9-ago-18	136	9-sep-18	106	9-oct-18	106	9-nov-18	106	9-dic-18	106
10-jul-18	136	10-ago-18	136	10-sep-18	106	10-oct-18	106	10-nov-18	106	10-dic-18	136
11-jul-18	136	11-ago-18	136	11-sep-18	106	11-oct-18	106	11-nov-18	106	11-dic-18	136
12-jul-18	136	12-ago-18	136	12-sep-18	106	12-oct-18	106	12-nov-18	106	12-dic-18	136
13-jul-18	106	13-ago-18	136	13-sep-18	106	13-oct-18	106	13-nov-18	106	13-dic-18	136
14-jul-18	106	14-ago-18	136	14-sep-18	106	14-oct-18	106	14-nov-18	106	14-dic-18	136
15-jul-18	106	15-ago-18	136	15-sep-18	106	15-oct-18	106	15-nov-18	106	15-dic-18	106
16-jul-18	106	16-ago-18	136	16-sep-18	106	16-oct-18	106	16-nov-18	106	16-dic-18	106
17-jul-18	106	17-ago-18	106	17-sep-18	106	17-oct-18	106	17-nov-18	106	17-dic-18	136
18-jul-18	106	18-ago-18	106	18-sep-18	106	18-oct-18	106	18-nov-18	106	18-dic-18	136
19-jul-18	106	19-ago-18	106	19-sep-18	106	19-oct-18	106	19-nov-18	106	19-dic-18	136
20-jul-18	106	20-ago-18	106	20-sep-18	106	20-oct-18	106	20-nov-18	106	20-dic-18	136
21-jul-18	106	21-ago-18	106	21-sep-18	106	21-oct-18	106	21-nov-18	106	21-dic-18	136
22-jul-18	106	22-ago-18	106	22-sep-18	106	22-oct-18	106	22-nov-18	106	22-dic-18	106
23-jul-18	106	23-ago-18	106	23-sep-18	106	23-oct-18	106	23-nov-18	106	23-dic-18	106
24-jul-18	106	24-ago-18	106	24-sep-18	106	24-oct-18	106	24-nov-18	106	24-dic-18	106
25-jul-18	106	25-ago-18	106	25-sep-18	106	25-oct-18	106	25-nov-18	106	25-dic-18	106
26-jul-18	106	26-ago-18	106	26-sep-18	106	26-oct-18	106	26-nov-18	106	26-dic-18	106
27-jul-18	106	27-ago-18	106	27-sep-18	106	27-oct-18	106	27-nov-18	106	27-dic-18	106
28-jul-18	106	28-ago-18	106	28-sep-18	Sin paso	28-oct-18	106	28-nov-18	106	28-dic-18	106
29-jul-18	106	29-ago-18	106	29-sep-18	126	29-oct-18	106	29-nov-18	106	29-dic-18	106
30-jul-18	106	30-ago-18	106	30-sep-18	106	30-oct-18	106	30-nov-18	106	30-dic-18	106
31-jul-18	106	31-ago-18	106			31-oct-18	106			31-dic-18	106

En la tabla 1 se puede observar que el día en que el tiempo de viaje fue mayor tardó 281 minutos. La forma de determinar el tiempo de viaje en los días en que se dieron cierres se calcularon teniendo en cuenta los tiempos indicados en los comunicados y sumando las veces en que se dieron cierres en diferentes puntos, debido a pare y siga, cierres totales o parciales. El ancho de intervalo se aproximó a 18. La tabla de distribución de tiempo de viaje queda de la siguiente manera.

Tabla 2. Tabla de distribución de tiempo de viaje

1	2	3	4	5	
Intervalos de clase (km/h)	Punto medio V_i (km/h)	Frecuencia Abs. f_i	Frecuencia Relat. $f_i/n*100$ (%)	Fr. Acum. Abs. f_{in}	Fr. Acum. Relat. $f_{in}/n*100$
97-115	106	229	62.74	229	62.74
115-133	124	30	8.22	259	70.96
133-151	142	72	19.73	331	90.68
151-169	160	31	8.49	362	99.18
169-187	178	2	0.55	364	99.73
187-205	196	0	0.00	364	99.73
205-223	214	0	0.00	364	99.73
223-241	232	0	0.00	364	99.73
241-259	250	0	0.00	364	99.73
259-277	268	0	0.00	364	99.73
277-286	286	1	0.27	365	100.00

Figura 11. Representación gráfica de datos de tiempo



Con los datos obtenidos en la tabla 2 se obtiene la gráfica observada en la figura 11, donde podemos obtener los percentiles que requerimos para reemplazar en los índices de confiabilidad, El percentil 95% nos arroja un tiempo de 152 min.

Desviación estándar reportada por el software Excel es el siguiente: 21.57 y la media: 120.31

Tiempo planeado de viaje (Planning time)

$$\text{Planning time} = \text{Percentil } 95\%$$

$$\text{Planning time} = 152$$

Índice de tiempo extra (Buffer time index)

$$\text{Buffer time index} = \frac{\text{Percentil } 95\% - \text{tiempo viaje promedio}}{\text{Tiempo de viaje promedio}}$$

$$\text{Buffer time index} = \frac{152 - 120.31}{120.31} = 26.34\%$$

Este resultado significa que debe planificar un 26.34% más del tiempo promedio para asegurar llegar a tiempo el 95% de las ocasiones.

El percentil 95% representa el retraso generado en los días más congestionados indicando que tan grave será la demora en los días con flujo más pesado.

Índice de Tiempo Planificado (Planning Time Index) :

$$\text{Planing time index} = \frac{\text{Percentil 95\%}}{\text{Tiempo de viaje con flujo libre}}$$

$$\text{Planing time index} = \frac{152}{106} = 1.48$$

El índice de tiempo planificado nos expresa la cantidad extra de tiempo que necesitarán los viajeros cuyos tiempos de viaje sean mayores al percentil 95% de $1.48 * 106 = 152$ segundos con respecto al tiempo de viaje en flujo libre para asegurar llegar a tiempo.

Coefficiente de variación

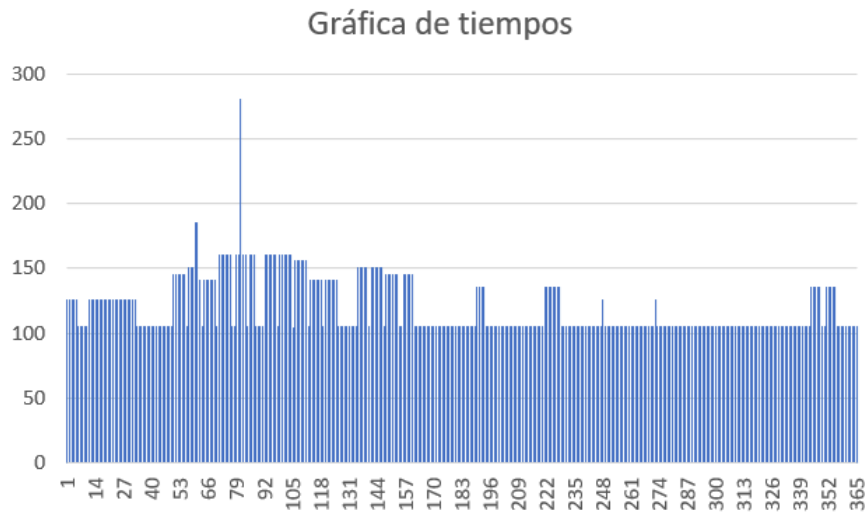
Un alto valor en el CV significa que existe heterogeneidad en los valores de la variable en cuestión. Valores pequeños, reflejan homogeneidad en los valores de la variable. El CV se calcula como sigue:

$$\text{Coeficiente de variación} = \left(\frac{\text{Desviación estandar}}{\text{Tiempo promedio de viaje}} \right) * 100$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \left(\frac{21.57}{120.32} \right) * 100 = 17.92\%$$

Este resultado sugiere una variabilidad moderada en relación con la media, vemos en la gráfica (*Figura 12*) que los resultados se encuentran en su mayoría hacia la izquierda, esto sugiere que los datos se concentran más cerca de la media y hay menos dispersión hacia valores más altos, la mayor parte de los datos están cerca del extremo inferior de la escala o del rango de valores que se están analizando.

Figura 12. Gráfico de tiempos de viaje a lo largo del año 2018



La combinación de un coeficiente de variación moderado y una concentración de datos hacia la izquierda puede interpretarse de varias maneras:

1. Los tiempos de viaje están dentro de ciertos límites y rangos predecibles
2. Posible asimetría en la distribución de los datos, Hay menos valores de tiempos extremadamente bajos en comparación con valores extremadamente altos.
3. Sugiere una mayor estabilidad en el fenómeno de distribución de tiempo.

La eficacia para el año 2018

La evaluación de la eficacia de la vía de la Ruta del Cacao, utilizando una escala de puntuación entre 0 y 1

$$Eficacia = \frac{\text{Días del año en que la vía estuvo habilitada}}{\text{Días del año}}$$

$$Eficacia = \frac{224}{365} = 0.61$$

Para el año 2018 al cual se le realizó el análisis de confiabilidad revela un resultado de 0.61. Esta puntuación indica que la vía de la Ruta del Cacao ha logrado un nivel moderado de eficacia en su funcionamiento.

Los resultados de eficacia para los años de concesión son los siguientes:

Año 2016: 0.93

Año 2017: 0.4

Año 2019: 0.91

Año 2020: 0.97

Año 2021: 0.96

Año 2022: 0.97

Año 2023: 0.87

Promedio de efectividad a lo largo de la concesión es de 0.82

7 Discusión

Para discutir los resultados de este análisis nos enfocamos en varios aspectos

1. Nivel de confiabilidad de la vía: Es importante destacar que, a pesar de los múltiples cierres experimentados a lo largo del tiempo de operación, la vía concesionada Ruta del Cacao muestra un nivel moderado de confiabilidad. Esto sugiere que, a pesar de los desafíos enfrentados, la infraestructura en general ha mantenido un cierto grado de funcionamiento aceptable.
2. Causas de los cierres: La investigación identificó diversas razones que han llevado al cierre de la vía en diferentes períodos, Además de los trabajos de rehabilitación inicial, se observa que los cierres han sido influenciados principalmente por condiciones naturales o climáticas, lo cual plantea desafíos significativos en términos de gestión y mantenimiento de la infraestructura vial.
3. Impacto en la movilidad y economía: Los cierres de la vía han tenido un impacto notable en la movilidad, lo que a su vez afecta la economía, La necesidad de utilizar rutas alternativas implica mayores costos tanto en tiempo como en recursos, lo que puede afectar negativamente a los usuarios y a la economía local en general.
4. Tendencias y patrones observados: Se han identificado tendencias favorables como la disminución de cierres totales y la mejora en la fluidez del tráfico. Esto podría sugerir que las medidas tomadas para mejorar la infraestructura y gestionar los riesgos han tenido

cierto éxito, Sin embargo, es importante seguir monitoreando estas tendencias para evaluar la efectividad de las acciones implementadas.

5. Desafíos futuros: Se destaca la presencia de fallas geológicas en la zona, lo que plantea un desafío continuo para los ingenieros y responsables de la infraestructura vial. La necesidad de encontrar soluciones duraderas y efectivas para mitigar el impacto de estos fenómenos naturales es crucial para garantizar la seguridad y la funcionalidad a largo plazo de la vía.

8 Conclusiones

El análisis de la confiabilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao proporciona una visión integral de su desempeño a lo largo del tiempo. Es importante tener en cuenta que la confiabilidad puede variar de un año a otro. El año 2018 se seleccionó como punto focal de este estudio debido a que presentaba los valores más críticos en cuanto a tiempos de cierre, lo que permitió identificar los desafíos más significativos que enfrenta la vía en términos de disponibilidad y confiabilidad. Sin embargo, es importante reconocer que estos resultados pueden no representar en totalidad la confiabilidad de la vía.

Es posible que se observen mejoras en la confiabilidad a medida que se implementan medidas de mantenimiento y gestión de riesgos a lo largo del tiempo, Esto resalta la importancia de realizar un análisis continuo y exhaustivo de la confiabilidad de la vía, considerando datos de todos los años para obtener una conclusión más precisa del desempeño.

Aunque la vía de la Ruta del Cacao ha alcanzado un nivel moderado de eficacia, aún existen oportunidades para mejorar su desempeño y satisfacer de manera más efectiva las necesidades de los usuarios y las demandas de la región. Es fundamental que los gestores de la vía implementen medidas correctivas y estratégicas para optimizar su funcionamiento y garantizar un servicio de transporte más eficiente y confiable en el futuro.

El estudio realizado proporciona una visión completa de la confiabilidad de la Ruta del Cacao, Identificando desafíos significativos, pero también destacando tendencias y áreas de mejora, las

conclusiones obtenidas pueden servir como base para futuras investigaciones y para la toma de decisiones en la gestión y mantenimiento de la infraestructura vial.

El departamento de Santander destaca la complejidad y los desafíos inherentes al diseño y mantenimiento de la infraestructura vial en esta región. La presencia de fallas geológicas y la topografía accidentada representan obstáculos significativos que influyen en la estabilidad y disponibilidad de la vía a lo largo del tiempo. La constante amenaza de movimientos de coluviones y pérdidas de banca, plantea desafíos adicionales, lo que a menudo dificulta la tarea de mantener la vía en funcionamiento. En muchas ocasiones, la reconstrucción repetida de tramos de la vía puede parecer más factible que diseñar un trazado completamente nuevo, especialmente considerando la presencia de infraestructura clave como puentes, túneles y viaductos que ya están en su lugar.

Es fundamental reconocer la importancia estratégica de la vía concesionada Ruta del Cacao para la conectividad y el desarrollo económico de la región, Por lo tanto, es crucial adoptar un enfoque integral que combine medidas de mantenimiento preventivo, gestión de riesgos y soluciones innovadoras para garantizar la confiabilidad y disponibilidad.

El promedio de eficiencia desde el inicio de la concesión hasta el 2023 es: 0.82. Lo que nos arroja como resultado la buena capacidad de la vía para cumplir su propósito con gran efectividad y rendimiento superior que caracterizan su funcionamiento, lo que sugiere una buena gestión y diseño para satisfacer las necesidades de los usuarios y maximizar los recursos disponibles.

9 Recomendaciones

Basados en los resultados obtenidos sobre la confiabilidad de la Concesión Ruta del Cacao se dan algunas recomendaciones:

1. Implementación de plan de mantenimiento preventivo: Dado que una parte importante de los cierres se deben a condiciones naturales o climáticas, es fundamental establecer un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares de la infraestructura y la implementación de medidas para mitigar los efectos de las condiciones adversas.

2. Mejorar la gestión de riesgos: es importante desarrollar e implementar un enfoque integral de gestión de riesgos que identifique y evalúe proactivamente los riesgos potenciales para la operación de la vía, Esto podría incluir la identificación de áreas propensas a deslizamientos de tierra o inundaciones y la implementación de medidas para mitigar estos riesgos.
3. Promoción de la educación y la conciencia pública: Informar y educar al público sobre los riesgos asociados con la infraestructura vial y la importancia de la seguridad vial puede ayudar a reducir la incidencia de cierres causados por comportamientos imprudentes o falta de conciencia sobre las condiciones de la vía
4. Investigar soluciones innovadoras: se podría considerar la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras para abordar los desafíos específicos asociados a las condiciones geológicas y climáticas de la región. Esto podría incluir el uso de tecnología avanzada para monitorear las condiciones de la vía en tiempo real y la implementación de técnicas de ingeniería innovadoras para fortalecer la infraestructura vial.

Estas recomendaciones pueden ayudar a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la vía concesionada Ruta del Cacao, reduciendo la incidencia de cierres y mitigando su impacto en la movilidad y la economía local. Es importante adaptar estas recomendaciones a las necesidades y circunstancias específicas de la concesión y trabajar en estrecha colaboración con todas las partes interesadas e involucradas en la gestión y operación de la vía.

La infraestructura vial en el departamento de Santander enfrenta desafíos únicos debido a las características geológicas y topográficas de la región. Sin embargo, con un enfoque proactivo y colaborativo entre las autoridades, los ingenieros y otras partes interesadas, es posible superar estos desafíos y garantizar una vía segura y funcional que contribuya al desarrollo sostenible de la región

5. En el contexto de la confiabilidad de la concesión de la Ruta del Cacao, se sugiere que futuros estudios consideren la realización de análisis estadísticos anuales para obtener resultados más precisos y relevantes, El seguimiento y evaluación de la confiabilidad de esta concesión pueden beneficiarse significativamente de un enfoque detallado y continuo a lo largo del tiempo.

Para obtener resultados más cercanos a la realidad y respaldar la toma de decisiones informada, se sugiere utilizar técnicas estadísticas apropiadas para el análisis de datos históricos y tendencias a lo largo del tiempo, La aplicación de análisis estadísticos anuales en futuros estudios sobre la confiabilidad de esta concesión proporcionará una visión más completa y precisa de su desempeño a lo largo del tiempo.

Referencias

Carrion, C., & Levinson, D. (2012). *Value of travel time reliability: A review of current evidence*. Elsevier, 720-741

Gordillo, F., & Martínez C., (2014). *Plan Vías-CC; Vías compatibles con el clima Plan de adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia*. ani.gov.co, https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u789/plan_vias-cc_vias_compatibles_con_el_clima.pdf

Lomax, T., S., T., Schrank, D., Turner, S., & Margiotta, R. (2003). *Selecting Travel Reliability Measures*. Texas Transportation Institute Monograph.

Margiotta, R. e. (2010.). *Analytic Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies*. SHRP-2 L03 Final Report. Cambridge Systematics, Inc.

Ovalle, G. O. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. *Revista de Ingeniería*, 44, 20-27. <https://doi.org/10.16924/revinge.44.3>

Sumalee, A., Pan, T., & Zhong an, R. (2013). *Dynamic stochastic journey time estimation and reliability analysis using stochastic cell transmission model: Algorithm and case studies*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, (pp. 263-285)

Taylor, M. A., & Susilawati, S. (2012). Modelling Travel Time Reliability with the Burr Distribution. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 54, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.727>