

DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO
VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE

Diego Andrés Miranda Osorio



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Especialización En Diseño Y Construcción De Obras De Infraestructura Y Edificaciones,

Facultad de ingenierías.

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2026

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO
VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE

Diego Andrés Miranda Osorio

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en diseño y
construcción de obras de infraestructura y edificaciones.**

Ing. Ms. Nancy Cifuentes Ospina, directora



Especialización en diseño y construcción de obras de infraestructura y edificaciones,

Facultad de ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2026

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesaria para culminar satisfactoriamente este trabajo de grado y alcanzar una nueva meta en mi formación profesional. Su guía y bendición fueron fundamentales durante cada etapa de este proceso.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Ingeniera Nancy Cifuentes Ospina, quien, en calidad de tutora, me brindó su valioso acompañamiento, orientación y apoyo constante. Su disposición, compromiso y dedicación fueron esenciales para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo, así como para mi crecimiento académico y profesional.

De igual manera, agradezco profundamente a mi familia por su amor incondicional, comprensión y apoyo permanente. Gracias por estar presentes en cada momento, por motivarme a seguir adelante ante las dificultades y por creer siempre en mis capacidades. Este logro también les pertenece a ustedes, pues han sido un pilar fundamental en mi vida y en la consecución de mis metas.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo y al cumplimiento de este importante objetivo académico.

Tabla de contenido

RESUMEN	10
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
ANTECEDENTES	22
SEÑALES VERTICALES:	23
LÍNEA ROJA:	23
DEMARCACIÓN HORIZONTAL ROJO CON BLANCO:	23
DELINEADOR:	23
GRAVILLA:	23
AMORTIGUADOR DE IMPACTO:	23
MARCO REFERENCIAL	31
MARCO NORMATIVO	31
LEY 1503 DEL 29 DE DICIEMBRE DE 2011.	31
LEY 769 DE 2002.	31
LEY 1450 DE 2011.	33
MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS	33
MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL	34
METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE AUDITORÍAS EN INSPECCIONES DE SEGURIDAD VIAL EN COLOMBIA.	34
PLAN NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL 2022 -2031	35

NIVEL INTERNACIONAL.....	37
AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, 2011	37
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-036-SCT2-2016, RAMPAS DE EMERGENCIA PARA FRENADO EN CARRETERAS.	38
MARCO GEOGRÁFICO	38
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	41
DISEÑO GEOMÉTRICO	41
RAMPAS DE FRENADO DE EMERGENCIA	44
ELEMENTOS DE UNA RAMPA DE FRENADO	50
SEÑALIZACIÓN	55
METODOLOGÍA	58
TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	59
FASES DE INVESTIGACIÓN	59
FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA.....	59
FASE 2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	59
FASE 3. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	60
FASE 4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	60
FASE 5. DISEÑO DE LA RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA.....	60
FASE 6. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	60
FASE 7. ELABORACIÓN DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
DESARROLLO	62
CAPÍTULO I: DEFINICIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE ACCIDENTALIDAD	62
CONDICIONES TOPOGRÁFICAS	62
TIPOS DE ACCIDENTES DENTRO DEL TRAMO EN ESTUDIO	63
TRANSITO PROMEDIO	64

TRANSITO PROMEDIO DIARIO	65
INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD	65
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA VÍA.	67
CAPÍTULO 3: UBICACIÓN DE SISTEMA DE FRENADO DE EMERGENCIA	72
UBICACIÓN DE LAS DOS ALTERNATIVAS PARA LA UBICACIÓN DE LA RAMPA DE FRENADO	72
MEMORIAS DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA LONGITUD DEL LECHO DE FRENADO PARA LA RAMPA DE EMERGENCIA PARA LA ALTERNATIVA NÚMERO 1 EN EL KM 08 + 640	75
MEMORIAS DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA LONGITUD DEL LECHO DE FRENADO PARA LA RAMPA DE EMERGENCIA PARA LA ALTERNATIVA NÚMERO 2 EN EL KM 10 + 800	78
CAPÍTULO 4: MODELACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA.....	81
UBICACIÓN TRAMO DE ESTUDIO CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO	81
UBICACIÓN DE LAS DOS ALTERNATIVAS PARA LA RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA Y MODELACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO EN CIVIL 3D	83
DEFINICIÓN DE ALINEAMIENTOS HORIZONTALES	83
OBTENCIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL	84
DISEÑO DE LA RASANTE	84
GENERACIÓN DEL CORREDOR Y MODELACIÓN TRIDIMENSIONAL	84
OBTENCIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES	85
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	85
SEÑALIZACIÓN PARA LAS DOS ALTERNATIVAS PROPUESTAS DE LA RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA.....	86
CAPÍTULO 5: ESTRUCTURA DE LA RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA.....	86
CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	86
ESTRUCTURA DE LA ZONA DE TRANSICIÓN	87
ESTRUCTURA DE LA CAMA DE FRENADO.....	88
MATERIAL DE RELLENO	89

FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA RAMPA	89
ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN PARA RAMPA DE FRENADO	90
ESTUDIOS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEFINITIVO	91
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
CONCLUSIONES	94
LISTA DE REFERENCIA	95
LISTA DE ANEXOS	99

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Causas de accidentalidad vial según la Agencia Nacional de Seguridad Vial</i>	18
Tabla 2. <i>cifras de fallecidos y lesionados dentro del corredor vial Bogotá - Villavicencio</i>	20
Tabla 3. <i>Rampas de frenado de emergencia ubicadas en México</i>	29
Tabla 4. <i>Tipo de terreno según sus pendientes</i>	42
Tabla 5. <i>Velocidad de diseño según tipo de carretera</i>	42
Tabla 6. <i>Resistencia a la rodadura de materiales para cama de frenado</i>	52
Tabla 7. <i>Accidentes de tránsito dentro del tramo de estudio.</i>	64
Tabla 8. <i>Tránsito vehicular corredor vial Bogotá- Villavicencio, Peaje Boquerón 1</i>	65
Tabla 9. <i>Datos y resultados obtenidos de alternativa n°1 de la rampa de frenado de emergencia</i>	77
Tabla 10. <i>Datos y resultados obtenidos de alternativa n°2 de la rampa de frenado de emergencia</i>	80
Tabla 11. <i>Estructura zona de transición de rampa de frenado</i>	87
Tabla 12. <i>Estructura cama de frenado</i>	88

Lista de figuras

Figura 1. <i>Cifras de victimas fatales según la agencia nacional de seguridad vial.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
Figura 2. <i>Rampa de frenado de emergencia vía Rumichaca -Pasto</i>	24
Figura 3. <i>Señal de tránsito vertical para que el vehículo sin frenos siga la línea roja</i>	25
Figura 4. <i>Demarcación horizontal rojo con blanco</i>	25
Figura 5. <i>Señal vertical.....</i>	26
Figura 6. <i>Áreas de acción de la estrategia nacional del PNSV 2022 - 2031.....</i>	37
Figura 7. <i>Ubicación del proyecto.....</i>	39
Figura 8. <i>Ubicación Vía Bogotá - Villavicencio</i>	40
Figura 9. <i>Diseño rampa de frenado vista desde planta y perfil.....</i>	45
Figura 10. <i>Tipos de rampa de frenado.....</i>	47
Figura 11. <i>Tipos de camiones en Colombia</i>	49
Figura 12. <i>Corte transversal y longitudinal de rampa de frenado.....</i>	54
Figura 13. <i>Corte transversal y corte longitudinal donde se evidencia el espesor de la rampa de frenado</i>	55
Figura 14. <i>Señalización para rampas de emergencia y lechos de frenado.....</i>	57
Figura 15. <i>Pendiente promedio del tramo en estudio</i>	63
Figura 16. <i>Tipos de accidentes dentro del tramo en estudio</i>	63
Figura 17. <i>Tipos de accidentes dentro del tramo de estudio</i>	64
Figura 18. <i>Sección transversal típica de la vía.</i>	67
Figura 19. <i>Señal vertical informativa de descenso peligroso.....</i>	68
Figura 20. <i>Pendiente en el tramo k11+ 400.</i>	69
Figura 21. <i>Curva horizontal, más curva vertical en descenso con pendiente del 6.5%.....</i>	69
Figura 22. <i>Señal vertical informativa de descenso peligroso. K06 +600.</i>	70
Figura 23. <i>Señal vertical informativa de descenso peligroso en el k04+220</i>	70
Figura 24. <i>Señal vertical informativa de descenso peligroso k03 +380.....</i>	71
Figura 25. <i>Señal vertical informativa de curva de alta accidentalidad en el k09 +220.</i>	71

Figura 26. <i>Ubicación de la alternativa número 1 de rampa de frenado de emergencia</i>	73
Figura 27. <i>Vista del lugar de la alternativa 1 donde se ubicará la rampa de frenado dentro del corredor vial</i>	73
Figura 28. <i>Ubicación de la alternativa número 2 de rampa de frenado de emergencia</i>	74
Figura 29. <i>Vista del lugar de la alternativa 2 donde se ubicará la rampa de frenado dentro del corredor vial</i>	74
Figura 30. <i>Rampa de grado descendente.</i>	75
Figura 31. <i>Rampa de grado ascendente</i>	78
Figura 32. <i>Levantamiento en google Earth</i>	82
Figura 33. <i>Ubicación del tramo de estudio en el software civil 3D.</i>	82

Resumen

Colombia es un país con un alto índice de accidentalidad vial tanto a nivel municipal como a nivel departamental, debido a su relieve montañoso- escarpado, esto lleva a que las vías departamentales o vías primarias presentan unas pendientes altas, por lo tanto, se presentan siniestros viales constantemente esto lleva a que en muchas ocasiones se presentan víctimas fatales.

La carretera que comunica a Bogotá con Villavicencio desempeña un papel fundamental dentro de la red vial nacional debido a que circulan todo tipo de mercancías lo cual ayuda con el desarrollo del país, esta vía tiene un alto índice de accidentalidad donde se ven afectados mayormente los vehículos de carga pesada ya que en la mayoría de ocasiones presentan problemas en el sistema de frenado, debido a que tienen que estar frenando constantemente por las altas pendientes. Todo esto conlleva a que se presente una pérdida en la economía tanto a nivel departamental como a nivel nacional.

Teniendo en cuenta lo anterior las concesiones viales en Colombia deben garantizar una infraestructura vial segura desde el diseño hasta su operación para evitar pérdidas de vidas humanas, según la información reportada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), el corredor que conecta a Bogotá con Villavicencio registra una incidencia significativa de eventos de tránsito donde han perdido la vida 112 personas, donde los principales factores que influyen en los índices de accidentalidad son, el tipo de vía, factor humano, tipo de vehículo, la geometría de la vía, los factores ambientales y la topografía. La vía Bogotá Villavicencio el tramo el peaje de Boquerón k04+200 hasta el k12+260 salida de Chipaque, cuenta con puntos críticos de accidentalidad debido a las características geométricas de la vía, sus fuertes pendientes, el tráfico de carga, uno de los indicadores de accidentalidad en este tramo consiste debido a fallas mecánicas de vehículos, ya que la vía no cuenta con zonas de seguridad siendo así un tramo donde se pueden implementar rampas de frenado de emergencia.

A lo largo de los años se ha considerado que las muertes y lesiones graves por accidentes de tránsito son inevitables, se debe buscar la manera de evitar este tipo de tragedias adaptando un enfoque preventivo donde se tenga como prioridad la seguridad vial. Por lo tanto, se deben implementar nuevas tecnologías.

La metodología adoptada comprende siete fases: revisión bibliográfica y normativa, recolección de información primaria y secundaria, diagnóstico del tramo, procesamiento estadístico de datos de accidentalidad, diseño geométrico mediante Civil 3D, evaluación técnica de dos alternativas de ubicación (k08+640 y k10+800) y formulación de conclusiones y recomendaciones. El diseño se fundamenta en la Norma Oficial Mexicana y en los lineamientos de AASHTO dado que Colombia carece de normativa técnica específica para este tipo de infraestructura. Como resultado, se obtuvieron dos alternativas de rampa con longitudes totales de cama de frenado de 129 m y 201 m respectivamente, utilizando gravilla como material de frenado con un espesor de diseño de 1,00 m. La propuesta incluye además el diseño de la señalización vial conforme al Manual de Señalización Vial de Colombia 2024 y la identificación de estructuras de contención requeridas para cada alternativa. Los resultados contribuyen a la implementación de los principios de Visión Cero y al cumplimiento del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022–2031, aportando una solución técnica concreta para reducir la mortalidad vial en uno de los tramos más peligrosos del país.

Abstract

Because Colombia is a country with a high road accident rate at both the municipal and departmental level, due to its mountainous and steep relief, departmental roads or primary roads have high slopes, where road accidents often result in fatalities.

The Bogotá-Villavicencio road is one of the main roads at the national level due to the circulation of all types of goods, which helps with the development of the country. This road has a high accident rate where heavy load vehicles are mostly affected, since most of the time they have problems in the braking system, since they have to be constantly braking due to the high slopes. All of this leads to a loss in the economy at both the departmental and national levels.

Taking into account the above, road concessions in Colombia must guarantee a safe road infrastructure from design to operation to avoid loss of human lives according to studies conducted by the National Roads Institute (INVIAS), the road leading from the city of Bogotá to the city of Villavicencio has a high accident rate where 112 people have lost their lives, where the main factors that influence accident rates are the type of road, human factor, type of vehicle, road geometry, environmental factors and topography. The Bogota-Villavicencio road from the Boqueron toll booth k04+200 to k12+260, Chipaque exit, has critical accident points due to the geometric characteristics of the road, its steep slopes, cargo traffic, one of the accident indicators in this section is due to mechanical failures of vehicles, since the road does not have safety zones, thus being a section where emergency braking ramps can be implemented.

Deaths and serious injuries due to traffic accidents have long been considered unavoidable, and ways must be found to avoid such tragedies by adapting a preventive approach where road safety is a priority. Therefore, new technologies.

The adopted methodology comprises seven phases: literature and regulatory review, collection of primary and secondary information, diagnosis of the road section, statistical analysis of accident data, geometric design using Civil 3D, technical evaluation of two location alternatives (km 08+640 and km 10+800), and formulation of conclusions and recommendations.

The design is based on the Mexican Official Standard and AASHTO guidelines, since Colombia lacks specific technical regulations for this type of infrastructure. As a result, two runaway truck ramp alternatives were developed, with total arrester bed lengths of 129 m and 201 m, respectively, using gravel as the arresting material with a design thickness of 1.00 m.

The proposal also includes the design of road signage in accordance with the 2024 Colombian Road Signage Manual, as well as the identification of the retaining structures required for each alternative. The results contribute to the implementation of Vision Zero principles and support compliance with the 2022–2031 National Road Safety Plan, providing a concrete technical solution to reduce road fatalities on one of the most hazardous road sections in the country.

Introducción

Uno de los principales corredores viales con el cual cuenta Colombia para el desarrollo de la economía local y nacional es la ruta Bogotá – Villavicencio, la cual está construida sobre el macizo montañoso de la cordillera oriental, con trazado en altas pendientes siendo este un factor que incide en los índices de accidentalidad, en transporte de carga principalmente por pérdida de frenos.

La vía Bogotá Villavicencio en el tramo peaje de Boquerón k04+200 hasta el k12+260 salida de Chipaque se presenta un alto índice de accidentalidad donde se presentaron 103 accidentes del año 2020 al año 2024 de acuerdo a un mapa en arcgis realizado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Uno de los indicadores de accidentalidad en este tramo consiste debido a fallas mecánicas de vehículos, ya que la vía no cuenta con zonas de seguridad siendo así un tramo donde se pueden implementar rampas de frenado de emergencia.

Es así como el objetivo del presente estudio se base en el diseño de rampas de frenado las cuales tienen como objetivo proporcionar un desvío seguro para los vehículos que pierdan control y busquen una detención de emergencia, debido a fallas mecánicas principalmente en su sistema de frenado, esto se da principalmente en vehículos de carga pesada, con la rampa de frenado de emergencia se busca disipar energía desacelerando el vehículo en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos. De igual manera dentro de la normativa se identifican 4 tipos de rampa de frenado, donde se busca diseñar la estructura más óptima para el diseño de la rampa de frenado de emergencia. Dentro del tramo en estudio en la vía Bogotá Villavicencio se deben tener en cuenta los puntos de referencia para ubicar el sitio donde se realice la rampa de frenado, donde se cumplan todos los aspectos técnicos y normativos de igual manera tener en cuenta el tipo de material de la rampa para así poder realizar el diseño que cumpla con todos los parámetros normativos y que ayude con la disminución de accidentalidad en esta vía.

Por lo tanto, se busca desarrollar el proyecto en 4 etapas a partir de datos primarios y secundarios en base a factores como, accidentalidad, parámetros técnicos apropiados para la construcción de la rampa de frenado y el tipo de rampa adecuado con el fin de buscar disminuir los índices de accidentalidad.

Colombia actualmente no cuenta con normativa técnica de diseño de rampas de frenado, solamente cuenta con el manual de señalización vial el cual indica el tipo de señales que se deben instalar.

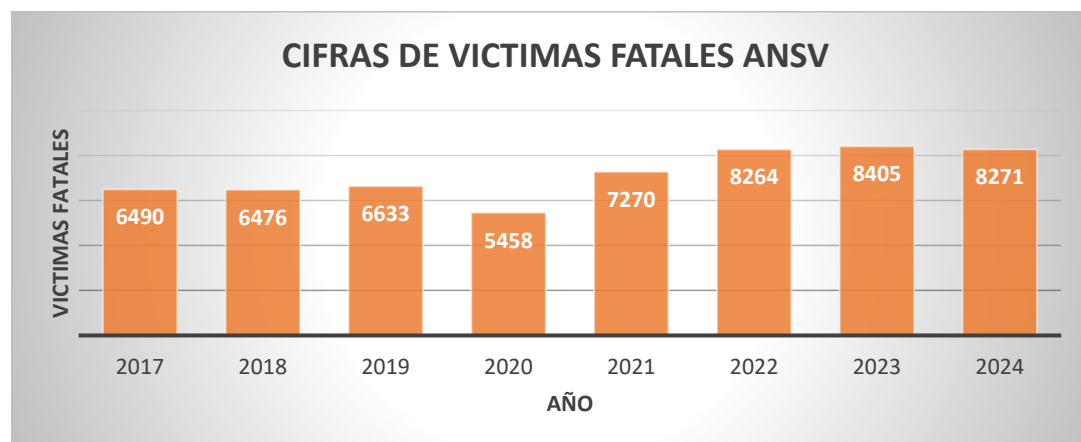
Planteamiento del problema

A partir del proyecto de seguridad vial impulsado a nivel mundial mediante la estrategia Visión Cero, se han generado políticas orientadas a lograr un sistema de tránsito sin muertes ni lesiones graves, siendo uno de sus principales objetivos el diseño de una infraestructura vial segura. Colombia a partir de la implementación del plan estratégico de seguridad vial 2022- 2031 del Ministerio de Transporte pretende disminuir los índices de siniestros viales a nivel nacional; es así como uno de los requisitos para los diseños viales nuevos son las auditorías de seguridad vial desde la planeación hasta la operación de la vía, para garantizar una infraestructura vial segura y minimizar las pérdidas de vidas humanas en las vías.

De acuerdo con la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), en el reporte estadísticos del Observatorio de Seguridad Vial las pérdidas de vidas por accidentes viales, desde el año 2017 hasta el 2024, han perdido la vida aproximadamente 57267 personas a nivel nacional.

Figura 1

Cifras de víctimas fatales según la agencia nacional de seguridad vial



Nota. Se evidencia la cantidad de víctimas fatales por siniestros viales en Colombia en los últimos 8 años. Tomado de.
<https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/cifras-a%C3%B1o-en-curso>

De acuerdo con los registros publicados por la Agencia Nacional de seguridad vial (ANSV, 2024), el corredor vial Bogotá - Villavicencio se tiene un alto índice de accidentalidad donde han perdido la vida 112 personas en los últimos 10 años, Entre los factores asociados a esta problemática son la infraestructura de la vía, factor humano, tipo de vehículo, la geometría de la vía, los factores ambientales y la topografía.

La vía Bogotá Villavicencio en el tramo peaje de Boquerón 1 k04+200 hasta el k12+260 salida de Chipaque cuenta con puntos críticos de siniestros viales donde se han presentado 103 accidentes desde el 2015 hasta el 2024 (Instituto Nacional de Vías, 2024)

Debido las características geométricas de la vía con pendientes que sobre pasan en algunos tramos el 8%, las cuales afectan el tráfico de carga debido a las fallas mecánicas ocasionada por perdida de frenos, siendo este un factor alto en los indicadores de accidentalidad; así mismo la falta de zonas de seguridad hace que se presenten traumatismos en la movilidad. Debido a lo anterior los eventos en la vía Bogotá Villavicencio se siguen presentando siniestros, por lo cual se busca generar una infraestructura tipo rampa de frenado de emergencia que contribuya minimizar los siniestros viales y así mismo la cantidad de lesionados y muertes en el tramo en estudio.

Pregunta de investigación ¿Cuál es la propuesta de diseño geométrico y estructural que debe tener la rampa de frenado de emergencia de acuerdo con las condiciones geométricas y topográficas de la vía Bogotá Villavicencio en el tramo peaje Boquerón k04 + 200 hasta la salida de Chipaque k12+260?

Justificación

De acuerdo con la Agencia Nacional de Seguridad Vial en Colombia perdieron la vida 37.268 personas desde el 2020 hasta el 2024 por siniestros viales, se puede evidenciar en la tabla 1 las causas de accidentalidad.

Tabla 1.

Causas de accidentalidad vial

Causas de accidentalidad vial (ANSV)		
Año	Causa	Porcentaje (%)
2020	Exceso de velocidad	25.35
	Desobedecer señales de tránsito	35.23
	Embriaguez aparente	17.62
	Posibles fallas mecánicas	17.36
	Otras	2.41
	Malas condiciones de la vía	3.69
2021	Exceso de velocidad	44.12
	Desobedecer señales de tránsito	35.69
	Embriaguez aparente	7.79
	Posibles fallas mecánicas	2.84
	Otras	2.27
	Malas condiciones de la vía	4.54
2022	Exceso de velocidad	38.10
	Desobedecer señales de tránsito	28.69
	Embriaguez aparente	8.11
	Posibles fallas mecánicas	13.47
	Otras	0.99
	Malas condiciones de la vía	7.04
2023	Exceso de velocidad	40.61
	Desobedecer señales de tránsito	29.88
	Embriaguez aparente	4.80
	Posibles fallas mecánicas	4.05
	Otras	9.12
	Malas condiciones de la vía	7.04
2024	Exceso de velocidad	41.64
	Desobedecer señales de tránsito	34.75
	Embriaguez aparente	5.18
	Posibles fallas mecánicas	4.13
	Otras	8.13
	Malas condiciones de la vía	1.18

Nota. causas que influyen en la accidentalidad a nivel nacional, donde las causas que más se presentaron fueron por exceso de velocidad y desobedecer señales de tránsito. Tomado de:

<https://www.ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/victimas-por-siniestros-viales-clasificadas-por-tipo-de>

El corredor vial Bogotá – Villavicencio es uno de las principales a nivel nacional, debido a que circulan todo tipo de mercancías que contribuyen con comercio en las diferentes regiones del país, esta vía tiene un alto índice de accidentalidad donde se ven afectados mayormente los vehículos de carga pesada ya que en la mayoría de las ocasiones presentan problemas en el sistema de frenado, debido a que tienen que estar frenando constantemente por las altas pendientes. Todo esto conlleva a que se presente una pérdida en la economía tanto a nivel departamental como a nivel nacional. A lo largo de los años, ha prevalecido la percepción de que los siniestros viales con consecuencias graves forman parte de los riesgos asociados a la circulación vehicular, se debe buscar la manera de evitar este tipo de tragedias adaptando un enfoque preventivo donde se tenga como prioridad la seguridad vial.

Por lo tanto, se deben implementar nuevas tecnologías, se habla de Visión Cero cuando la infraestructura vial y las estrategias de seguridad deben garantizar que no se pierdan vidas humanas y lesiones graves, la visión cero busca analizar el incidente vial desde de todos los puntos de vista; Vehículo, pasajeros, conductor, condiciones climáticas, calzada, señalizaciones.

Se busca realizar una propuesta con el fin de reducir los índices de siniestralidad vial en el tramo comprendido entre el peaje Boquerón 1 k04 + 200 hasta la salida de Chipaque k12+260.

Se tienen las cifras de muertes y lesionados dentro del corredor vial Bogotá- Villavicencio. Ver tabla 2.

Tabla 2.

Cifras de fallecidos y lesionados dentro del corredor vial Bogotá - Villavicencio

Año	Víctimas fatales	Lesionados
2020	1	5
2021	9	4
2022	6	33
2023	6	21
2024	7	41

Nota. se evidencia cifras de víctimas y lesionados en la ruta Bogotá - Villavicencio Siendo el año 2024 uno de los más críticos por el número de víctimas. Tomado de <https://www.ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/victimas-por-siniestros-viales-clasificadas-por-tipo-de>

Objetivos

Objetivo General

Realizar una propuesta de diseño geométrico y estructural que debe tener la rampa de frenado de emergencia de acuerdo con las condiciones geométricas y topográficas de la vía Bogotá Villavicencio en el tramo peaje Boquerón 1 k04 + 200 hasta la salida de Chipaque k12+260

Objetivos Específicos

Definir zonas críticas de accidentalidad en la vía Bogotá Villavicencio a través de indicadores de accidentalidad.

Determinar puntos de referencia para la ubicación del sistema de frenado de emergencia, de acuerdo a los requerimientos técnicos, geometría y topografía de la vía.

Modelar a partir de software civil 3D el diseño geométrico de la rampa de frenado de emergencia.

Definir el tipo de estructura de la rampa de frenado de emergencia.

Antecedentes

Para el presente proyecto se realizó la búsqueda de artículos e investigaciones nacionales e internacionales, en las cuales se aborda la problemática referente a los siniestros viales, de igual manera las tecnologías adecuadas para la reducción de estos siniestros.

Castro (2024), expone que Las rampas de escape de emergencia surgen como una necesidad de seguridad vial debido a la gran cantidad de accidentes que se presentan principalmente en carreteras con pendientes altas, esto lleva a que los vehículos presenten fallas en su sistema de frenado, principalmente vehículos de carga debido a su peso.

En Colombia las carreteras nacionales son de gran importancia ya que dentro de estas se movilizan todo tipo de mercancías las cuales ayudan con el desarrollo económico del país, por lo tanto, se deben tener vías seguras es por eso por lo que en Colombia se están empezando a implementar este tipo de tecnologías las cuales tienen como objetivo disminuir la accidentalidad. En la vía que conduce del municipio de Rumichaca hasta el municipio de Pasto se construyó una rampa de emergencia debido a que es una vía con una pendiente de descenso bastante alta.

Según el manual de seguridad vial Perú (2016) expone que. Antes de la implementación de las rampas de frenado de emergencia, los conductores que perdían la capacidad de controlar la velocidad en descensos prolongados recurrían a diferentes maniobras para intentar detener sus vehículos. Entre ellas se encontraban el uso de zonas con materiales sueltos ubicadas al costado de la vía, el desvío hacia sectores con pendiente ascendente o la aproximación a taludes y superficies que incrementaran la fricción con el fin de reducir la velocidad y evitar consecuencias más graves.

A nivel nacional actualmente la concesión Rumichaca- Pasto cuenta con una rampa de frenado debido a que es una vía donde se tienen altas pendientes, está ubicada en el k67+200. Estas estructuras ayudan a detener un vehículo que presente fallas en su sistema de frenado u otras fallas mecánicas.

En la figura numero 2 se puede observar cómo se compone una rampa de frenado donde se tiene.

Según la concesión vial Rumichaca pasto se presentan a continuación las características de la rampa de frenado.

Señales Verticales: Son las encargadas de informar donde se encuentra la rampa de frenado.

Línea roja: tienen como función dirigir hacia la rampa de frenado de emergencia.

Demarcación horizontal rojo con blanco: Indican el ingreso al lecho de frenado.

Delineador: Señal vertical de color blanco con rojo que delimita el área de la rampa.

Gravilla: Material que al contacto con las llantas reduce la velocidad del vehículo.

Amortiguador de Impacto: Elemento que se encuentra al final de la rampa y detendrá al vehículo.

Figura 2

Rampa de frenado de emergencia vía Rumichaca -Pasto



Nota. Se puede evidenciar la composición de la rampa de frenado de emergencia en la vía que conduce de Rumichaca - Pasto.

Tomado de: <https://uniondelsur.co/>

Se puede encontrar dentro del corredor vial las siguientes señales de tránsito con respecto a la rampa de frenado de emergencia.

Figura 3

Señal de tránsito vertical para que el vehículo sin frenos siga la línea roja.



Nota. Se tiene la señal vertical la cual indica que el vehículo sin frenos debe seguir la línea roja. Tomado de: "Google earth"

Figura 4.

Demarcación horizontal rojo con blanco



Nota. Se tiene la demarcación roja con blanco la cual indica que es el ingreso al lecho de frenado. Tomado de: "Google earth"

Figura 5*Señal vertical*

Nota. Se encuentra la señal de tránsito vertical la cual indica donde se encuentra la rampa de frenado. Tomado de: "Google earth"

En la vía Briceño- Tunja – Sogamoso se realizó una investigación para realizar una rampa de frenado debido al alto índice de siniestros viales en la zona.

Para realizar el dimensionamiento adecuado de la superficie de detención que se busca diseñar posteriormente, evaluar su viabilidad teniendo en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-036-SCT2-2016, debido a que en Colombia no cuenta con una normativa vigente referente a la construcción de rampas de frenado.

Inicialmente se define el tipo de rampa a diseñar la cual se toma una rampa ascendente ya que según lo indicado esta involucra una menor superficie para el caso en estudio, seguido de esto se toma como referencia la velocidad de operación en el tramo de la vía Briceño – Tunja – Sogamoso la cual es de 80 km/h con una pendiente descendente del 9%, así se establecen los parámetros y se aplica la

formula según la normativa mexicana para obtener la velocidad de entrada a la rampa de frenado. La cual es una velocidad de 120.53 km/h. Se procede a realizar el cálculo de la longitud de la cama de frenado donde se obtiene una longitud de la cama de 133.01 m y una longitud de acceso de 15 m, se procede a determinar el ancho de la rampa, para la cama, entre 10 metros a doce 12 metros para el camino de servicio un ancho de cinco 5 metros, por ende, se establece que el ancho de la cama de frenado será de diez (10) metros y el ancho del camino de servicio será de cinco 5 metros (Fonseca et al, 2022).

De esta manera es posible establecer posibles dimensiones para el diseño y posible construcción de una rampa de frenado de emergencia.

Gutiérrez & Cubillos (2020), exponen que:

Las rampas de frenado son una alternativa no solo económica sino también muy eficaz, donde en muchos países se han convertido con el pasar de los años en una alternativa necesaria para el buen funcionamiento de una vía y el control de la velocidad; una vía como la concesión Briceño – Tunja – Sogamoso al implementar estas rampas de frenado se pueden reducir en un gran porcentaje los índices de mortalidad o accidentabilidad frecuentes en este trayecto brindando mayor seguridad tanto para los conductores como para los residentes que se encuentran a lo largo de esta concesión (p.13).

De acuerdo con los antecedentes analizados, las rampas de frenado de emergencia representan una solución de infraestructura que puede contribuir a mejorar las condiciones de seguridad en la vía, reduciendo el riesgo de incidentes con consecuencias graves para los usuarios.

El Invias plantea la construcción de una rampa de frenado en la vía de la línea desde el túnel principal en su descenso hacia el Tolima, los cuales presentan problemas de alta pendiente de acuerdo con a la auditoría realizada, en ambos sentidos.

La Agencia Nacional de Seguridad Vial es la encargada de buscar prevenir, reducir y controlar la siniestralidad vial e investigar sobre los efectos de la infraestructura en la seguridad. Sin embargo, no existe una normativa consolidada que determine la obligatoriedad de la instalación, diseño y señalización de rampas de frenado para casos específicos; teniendo en cuenta que es una falla del estado mismo no considerarlas como una medida de seguridad vial para zonas montañosas de pendiente pronunciada o en zonas planas de alta velocidad (González & pineda, 2024).

Teniendo en cuenta la topografía a la que se enfrentan los colombianos al transitar por las carreteras, se hace necesaria la implementación de rampas de escape, las cuales, pese a no ser obligatorias en Colombia ni en otro lugar del mundo, requieren, no solo del diseño geométrico para aislar el vehículo que ha perdido control, sino también todo un corredor que le permita maniobrar y frenar al vehículo que ha perdido el control.

A nivel internacional se han realizado estudios para el diseño de rampas de frenado de emergencia como se presentan a continuación:

En México, las rampas de frenado de emergencia han sido incorporadas en diversos corredores viales de alta importancia estratégica con el propósito de mitigar los riesgos asociados a fallas en los sistemas de frenado de vehículos pesados. Su implementación responde a la necesidad de garantizar condiciones seguras de operación en una red carretera que moviliza anualmente grandes volúmenes de pasajeros y mercancías. Debido a la relevancia del transporte por carretera en la dinámica económica y logística del país, estas infraestructuras constituyen una herramienta efectiva para la reducción de la siniestralidad en tramos con condiciones geométricas exigentes. (Gobierno de México, 2022).

Tabla 3.

Rampas de frenado de emergencia ubicadas en México

No .	AUTOPIST A	UBICACIÓ N	CUERP O	LADO	No .	AUTOPISTA	UBICACIÓ N	CUERP O	LADO
1	México-Querétaro	157+200	A	Izquierd o	11	México-Puebla	50+600	B	Derecho
2	México-Querétaro	158+000	A	Derecho	12	México-Puebla	72+300	A	Derecho
3	México-Cuernavac a	66+200	A	Derecho	13	Acatzingo-Cd. Mendoza	234+000	A	Izquierd o
4	Cuernavac a-Acapulco	154+000	B	Derecho	14	Acatzingo-Cd. Mendoza	235+500	A	Derecho
5	Cuernavac a-Acapulco	222+000	B	Derecho	15	Champotón-Campeche	175+300	B	Derecho
6	Cuernavac a-Acapulco	223+000	B	Derecho	16	Puerto México-La Carbonera	228+700	A	Izquierd o
7	Cuernavac a-Acapulco	319+000	A	Derecho	17	Durango-Mazatlán	23+700	B	Derecho
8	México-Puebla	35+500	B	Derecho	18	Durango-Mazatlán	144+000	A	Derecho
9	México-Puebla	39+000	B	Derecho	19	Durango-Mazatlán	155+600	A	Derecho
10	México-Puebla	46+800	B	Derecho	20	Las Choapas-Raudales-Ocozocoautla	160+360	B	Derecho

Nota. Se observa las rampas de frenado en México distribuidas dentro de las vías de México. Tomado de:

<https://www.gob.mx/capufe/articulos/rampas-de-emergencia-para-frenado?idiom=es>

Teniendo en cuenta las características y diferentes estudios referentes a el diseño de una rampa de frenado se deben revisar distintos factores que influyen tanto en el diseño como en la construcción de una rampa de frenado de emergencia.

Según Tacuri (2021), indica que para emplear una rampa de frenado de emergencia se deben tener en cuenta diversos factores como lo son la topografía, el índice de siniestralidad por lo tanto se realiza el estudio de tráfico con clasificación vehicular y el levantamiento topográfico. Para así obtener

un diseño óptimo de la rampa de frenado de emergencia, la cual cumpla con ciertos parámetros técnicos y su buen funcionamiento.

En distintos países, como lo es en Guatemala se ha podido evidenciar que una rampa de frenado es una tecnología viable debido a que en muchas de las vías se tiene una topografía escarpada lo cual hace que se tengan vías con altas pendientes, dentro de las cuales transitan vehículos de carga pesada, lo cual lleva a que se evalúen y construyan rampas de frenado de emergencia.

Según Cotton (2016), se presenta una caracterización integral del sistema vial guatemalteco, considerando la tipología de las vías, los vehículos que transitan por ellas, su estado funcional y los indicadores de accidentalidad registrados. Con base en esta información, se desarrollan lineamientos y parámetros de referencia orientados al diseño de rampas de frenado de emergencia, concebidas como una medida de mitigación para reducir los riesgos asociados a la pérdida de control de los vehículos en carreteras. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se observa que es de suma importancia impulsar este tipo de tecnologías ya que Colombia al igual que México es un país donde las carreteras son muy concurridas debido a que se transporta todo tipo de carga desde los puertos hacia el centro del país, de igual manera entre las grandes ciudades, por lo tanto, se debe buscar la manera para que estas vías tengan una mayor seguridad vial.

Marco referencial

Marco normativo

Ley 1503 del 29 de diciembre de 2011.

Es de gran importancia que se genere una buena conducta y cultura vial con el fin de prevenir y disminuir la accidentalidad vial a nivel nacional, ya que la mayoría de accidentes se generan por factores humanos.

Según lo que establece el congreso de Colombia en la ley 1503

La cual tiene por objeto definir lineamientos generales en educación, responsabilidad social empresarial y acciones estatales y comunitarias para promover en las personas la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y en consecuencia, la formación de criterios autónomos, solidarios y prudentes para la toma de decisiones en situaciones de desplazamiento o de uso de la vía pública (Artículo 1, p. 421).

Ley 769 de 2002.

La Ley 769 de 2002 establece disposiciones orientadas a promover comportamientos responsables y seguros entre los usuarios de las vías, con el propósito de fortalecer la cultura de la seguridad vial y fomentar decisiones adecuadas durante los desplazamientos en el espacio público (Ley 769 de 2002, p.1).

Se tiene algunos conceptos los cuales serán aplicados en el presente documento.

Accidente de tránsito: Se entiende por accidente de tránsito un suceso no intencional en el que interviene uno o más vehículos en circulación, ocasionando afectaciones a las personas, daños materiales o ambos. Además de sus consecuencias directas, este tipo de evento puede alterar temporalmente las condiciones normales de movilidad y el flujo vehicular en el área donde ocurre.

Automóvil: Vehículo diseñado principalmente para el transporte de personas por vías terrestres, capacidad para varios ocupantes y un sistema que le permite desplazarse de manera autónoma.

Autopista: Vía de dos o más carriles, con intersecciones o entradas y salidas en otras vías, cuenta con diferentes cambios de pendientes y velocidades que pueden variar a lo largo de la misma.

Berma: Se encuentra dentro de la vía en la parte lateral de la calzada y sirve para el tránsito de peatones, semovientes y para los vehículos que necesiten parquear por alguna emergencia.

Calzada: Donde transitan todo tipo de vehículos.

Camión: Vehículo de grandes dimensiones el cual transportar todo tipo de carga pesada.

Carretera: Por donde transitan todo tipo de vehículos.

Carril: Parte de la calzada donde transitan los vehículos en un solo sentido.

Choque o colisión: Encuentro violento entre dos (2) o más vehículos, o entre un vehículo y un objeto fijo.

Conductor: Persona preparada y con capacitada técnica y teóricamente para manejar un vehículo.

Cuneta: canal construido al borde de una vía para recoger y evacuar las aguas superficiales.

Infracción: Incumplimiento de una norma de tránsito.

Señal de tránsito: Elemento visual instalado en la infraestructura vial, diseñado para transmitir información, advertencias o disposiciones reglamentarias a los usuarios de la vía.

Vehículo: Medio de transporte terrestre diseñado para desplazarse sobre ruedas y facilitar el traslado de personas, animales o mercancías entre distintos lugares.

Corresponde al Ministerio de Transporte liderar la formulación de una estrategia nacional orientada al fortalecimiento de la seguridad vial, cuyo propósito sea reducir la ocurrencia de siniestros

de tránsito en el territorio nacional. Este instrumento de planificación debe servir como referente para la estructuración de programas y acciones en los diferentes niveles territoriales.

Ley 1450 de 2011.

A través del Plan Nacional de Desarrollo 2010–2014, denominado Prosperidad para Todos, el Gobierno Nacional reconoció la seguridad vial como un asunto de interés estratégico para el país, promoviendo su consolidación como una política pública de carácter permanente. Bajo este enfoque, se planteó la necesidad de implementar acciones coordinadas y sostenibles en el tiempo, de manera que los avances en materia de prevención y reducción de la siniestralidad vial no dependieran exclusivamente de un período gubernamental específico. Para alcanzar este propósito, el plan estableció una serie de lineamientos y estrategias orientadas al fortalecimiento de la seguridad en la infraestructura vial y en los diferentes actores del sistema de transporte. (Ley 1450, 2011)

Manual De Diseño Geométrico De Carreteras

Es de gran importancia tener en cuenta el diseño geométrico de una vía ya que es uno de los factores mas importantes a la hora de implementar las rampas de frenado de emergencia por consiguiente.

Mediante la Resolución No. 000744 del 04 de marzo de 2009 se estableció el manual de diseño geométrico para carreteras.

El presente Manual pretende sintetizar de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle (p. 3)

Este Manual también hace referencia a, la clasificación de carreteras a nivel nacional, la planeación y ejecución para un proyecto de una carretera, controles del diseño geométrico, diseño en planta y perfil del eje de la carretera, el diseño de la sección transversal de la carretera, las intersecciones a nivel y desnivel, diseño geométrico en casos especiales y el aseguramiento de la calidad del diseño geométrico.

Manual de señalización vial.

Se debe tener una señalización que cumpla con la normativa y que informe de manera adecuada a los conductores con el fin de prevenir cualquier siniestro vial.

Resolución Única de Tránsito 20243040045005 de 2024.

Tiene como objetivo principal ser un documento técnico integral que proporcione las herramientas necesarias para llevar a cabo actividades relacionadas con el diseño, construcción, ubicación, uso, instalación, retiro, modificación, mantenimiento, conservación, aplicación o reparación de la señalización vial en el territorio nacional (p. 12).

Metodología para el desarrollo de auditorías en inspecciones de seguridad vial en Colombia.

Las auditorías e inspecciones de seguridad vial constituyen herramientas técnicas orientadas a la identificación de condiciones que puedan comprometer la seguridad de los usuarios de la vía. Su propósito es detectar de manera anticipada factores de riesgo asociados a la ocurrencia de siniestros viales, permitiendo la formulación e implementación de acciones correctivas y preventivas que contribuyan a mejorar las condiciones de circulación y a reducir la probabilidad de accidentes en el corto, mediano y largo plazo. (Metodología para el desarrollo de auditorías en inspecciones de seguridad vial en Colombia, 2021)

Este programa se basa en estrategias preventivas donde muestra las facultades e instrumentos de planeación y gestión para que se pueda desarrollar, se deben priorizar las acciones preventivas para minimizar la probabilidad de ocurrencia siniestros viales.

Plan nacional de seguridad vial 2022 -2031

Se deben buscar y garantizar estrategias que lleven a un plan de seguridad vial con el fin de minimizar la siniestralidad vial con el fin de que se vele por la integridad de las personas dentro del Decreto 1430 de 2022. Se establece

La afectación que genera la siniestralidad al goce de derechos fundamentales como la vida y la salud visibiliza la necesidad de que el sector público, privado y sociedad civil trabajen en concurrencia y complementariedad por la seguridad vial tal forma que la movilidad pueda ser ejercida en entornos que velen por la integridad de las personas. Por lo tanto, se establecen los puntos importantes para el plan nacional de seguridad vial (p.8).

Un sistema seguro para Colombia: El fortalecimiento de la seguridad vial depende del trabajo articulado entre las entidades gubernamentales, el sector productivo, la comunidad académica y los usuarios de las vías. La participación activa de cada uno de estos actores permite integrar medidas preventivas en las diferentes etapas de gestión de la infraestructura y del transporte, contribuyendo a la reducción de riesgos y a la consolidación de un sistema de movilidad más seguro y eficiente.

Objetivo y meta: Promover acciones conjuntas orientadas a salvaguardar la vida y el bienestar de quienes participan en la movilidad, mediante la reducción de los riesgos asociados a la ocurrencia de siniestros viales.

Principios para la gestión de la seguridad vial: Tienen como objetivo fortalecer los procesos relacionados con la seguridad vial frente a los desafíos que implica la implementación del enfoque de Sistema Seguro, procurando aumentar su efectividad y el impacto positivo de las acciones desarrolladas.

Para ello, se establecen una serie de principios que orientan la planificación y ejecución de las estrategias en esta materia.

- Coordinación
- Cooperación
- Eficiencia
- Evidencia
- Participación social y aprendizaje mutuo
- Seguimiento y evaluación orientada a resultados
- Suficiencia, oportunidad y divulgación de datos o información
- Universalidad
- Visión de largo plazo

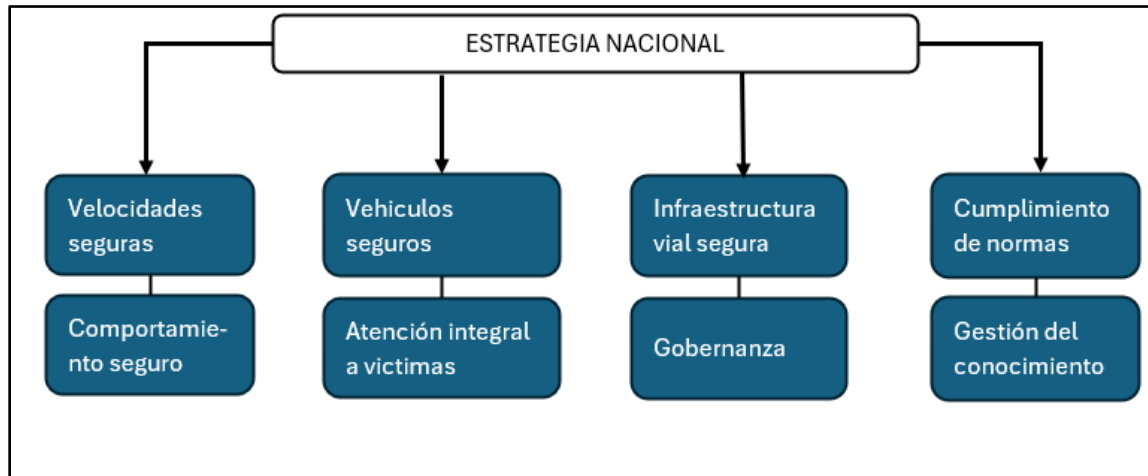
Estructura del PNSV 2022 – 2031

Según el plan nacional de seguridad vial 2022-2031 establece lo siguiente

La estrategia nacional define el trabajo del Gobierno nacional sobre 8 áreas de acción a partir del análisis y gestión de los factores que contribuyen a la conformación de escenarios de riesgo para los actores viales, así como de las necesidades que en materia de gobernanza y gestión de conocimiento requiere el país para avanzar en la adopción del enfoque Sistema Seguro (p.17).

Figura 6.

Áreas de acción de la estrategia nacional del PNSV 2022 - 2031



Nota. Se puede observar las áreas de acción dentro de la estrategia nacional del Plan Nacional de Seguridad Vial -PNSV 2022 - 2031. Tomado de. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/documentos/anexo-tecnico-decreto-1430-2022.pdf>

Nivel internacional

American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011

Se debe tener en cuenta la normativa internacional debido a que en países como Estados Unidos y México se han implementado este tipo de estructuras.

The American Association of State Highway and Transportation Officials (2011) expone que

Cuando existan pendientes largas y descendentes o cuando los controles topográficos y de ubicación indiquen la necesidad es conveniente diseñar y construir una rampa de emergencia en un lugar adecuado para que los vehículos fuera de control, especialmente los camiones, puedan frenar y detenerse lejos de la corriente principal de tráfico. Los vehículos fuera de control son generalmente el resultado de la pérdida de la capacidad de frenado del conductor, ya sea por sobrecalentamiento del motor o por un fallo del sistema de frenos, las rampas construidas en

las autopistas existentes han llevado al diseño e instalación de rampas eficaces que salvan vidas y reducen los daños materiales. en las rampas existentes indican que proporcionan velocidades de deceleración aceptables y permiten un buen control del vehículo en la rampa por parte del conductor. (p. 140).

Según lo establecido por la normativa estadounidense se puede evidenciar que implementar este tipo de estructuras puede ayudar a los vehículos fuera de control a detenerse de manera segura.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

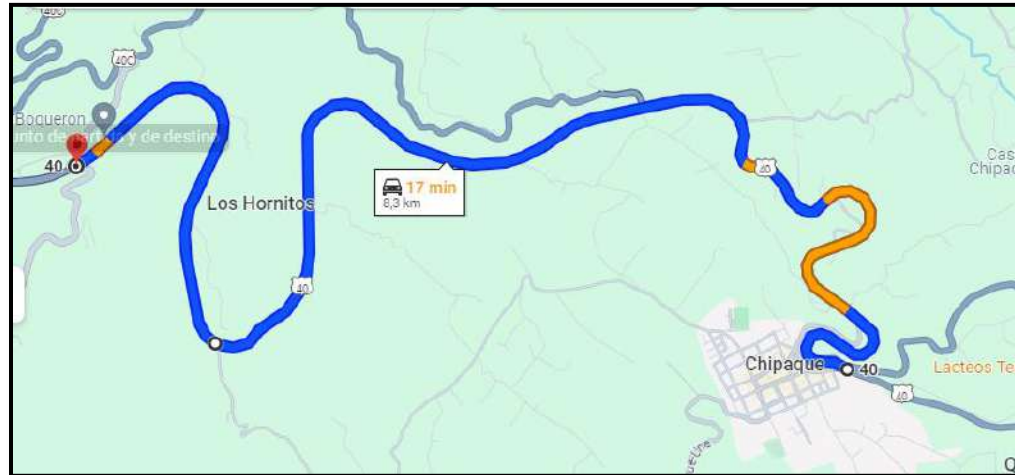
Las características topográficas presentes en determinados corredores viales pueden exigir la construcción de carreteras con descensos de gran longitud y pendientes pronunciadas. En este tipo de condiciones, una falla en los sistemas de frenado o en otros componentes mecánicos de los vehículos puede incrementar significativamente el riesgo de pérdida de control y, en consecuencia, la ocurrencia de siniestros de alta severidad. Como medida preventiva frente a este escenario, se contempla la implementación de rampas de frenado de emergencia, diseñadas para detener de forma segura los vehículos que presentan problemas en su capacidad de desaceleración. (NOM-036-SCT2-2016).

Marco geográfico

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, específicamente en el corredor vial Bogotá – Villavicencio, el tramo de estudio se encuentra desde el peaje Boquerón 1 (k04+200) hasta la salida de Chipaque (k12+260)

Figura 7

Ubicación del proyecto

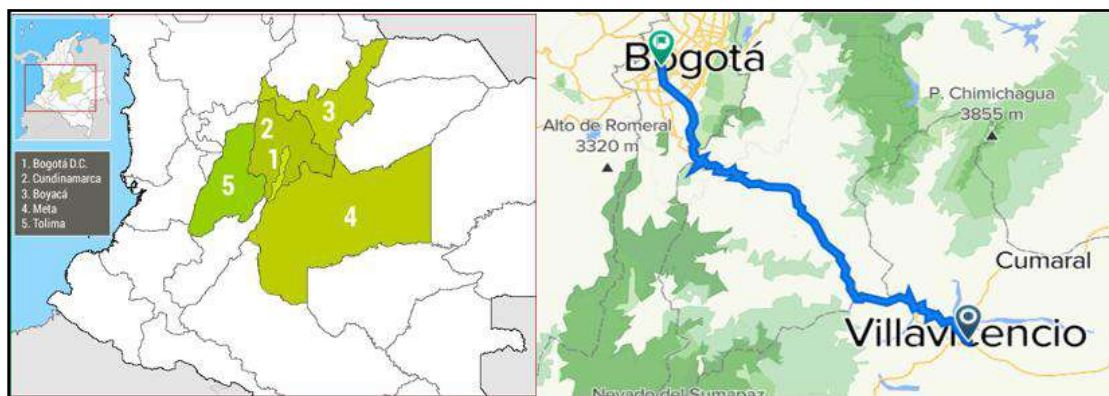


Nota. La ilustración hace referencia a la ubicación del tramo desde el boquerón hasta salida de Chipaque. Tomado de “Google maps”

El corredor vial Bogotá - Villavicencio se encuentra en la cordillera oriental en la cuenca del río Negro, conectando a el departamento de Cundinamarca con el departamento del Meta en la ruta 40, tramo 06. Dentro de la red vial nacional, esta inicia en el sur de Bogotá y conecta a los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame, Guayabetal los cuales se encuentran en el departamento de Cundinamarca y Pipiral en el departamento del Meta finalmente termina su recorrido en la ciudad de Villavicencio.

Figura 8

Ubicación Vía Bogotá - Villavicencio



Nota. Ubicación del corredor vial Bogotá – Villavicencio, conecta a el departamento de Cundinamarca el cual es el número 2 y al departamento del meta que es el número 4 dentro de la imagen. Tomado de. <https://www.sdp.gov.co/micrositios/rape/que-es>

Dentro del corredor vial Bogotá – Villavicencio el tramo en estudio va desde k04+200 tramo peaje de Boquerón 1 hasta el k12+260 salida de Chipaque y se divide en 3 tramos.

Tramo 1: Peaje Boquerón 1 k04+200 hasta k08+500, el cual tiene una longitud de 4.36 km una velocidad promedio de 70 km/h y un pendiente longitudinal promedio de 5.4%

Tramo 2: k08+500 hasta k11+980, el cual tiene una longitud de 3.5 km, una velocidad promedio de 60 km/h y una pendiente longitudinal de 7.4 %.

Tramo 3: k11+980 hasta k12+260 salida de Chipaque, este tiene una longitud de 286 metros, tiene una velocidad promedio de 70 km/h y cuenta con una pendiente promedio de 5.8%.

Es de gran importancia tener en cuenta el diseño geométrico de la vía y que tanto influye este en el alto índice de accidentalidad dentro de este corredor vial.

La Ingeniera Ospina (2014), expone que “La carretera Bogotá - Villavicencio es una de las rutas más críticas del sector nacional, debido a que debe soportar cierres continuos por factores ambientales, geológicos, topográficos, resultantes de diseños y especificaciones técnicas de la

década del 70 y los cuales inciden en la seguridad y movilidad de los usuarios de la vía, generando riesgos de accidentalidad, afectación de la economía de la región y del país por los continuos cierres (p. 64).

Marco teórico y conceptual

Diseño geométrico

Es de gran importancia tener en cuenta el diseño geométrico dentro de un proyecto de infraestructura vial con el fin de que una vía sea funcional, segura y cómoda. Por lo tanto, se deben tener en cuenta los siguientes factores.

Clasificación de carreteras. Según el manual de diseño geométrico de carreteras en Colombia las vías se clasifican de la siguiente manera.

Competencia

- Nacionales
- Departamentales
- Veredales o vecinales
- Distritales y municipales

Funcionalidad

- Primarias
- Secundarias
- Terciarias

La carretera Bogotá – Villavicencio es de orden primario ya que como lo define el manual de diseño geométrico, las carreteras primarias son aquellas donde: las troncales, transversales y acceso a capitales de departamento que cumplen con la función básica de integración de las zonas de producción y consumo del país.

Tipo de terreno

En la tabla 4 se puede evidenciar los tipos de terreno según sus pendientes

Tabla 4.

Tipo de terreno según sus pendientes

Tipo de terreno	Pendientes longitudinales	Pendientes transversales	CARACTERÍSTICAS
Plano	Entre 0% y 3%	$\leq 5^\circ$	Exige el mínimo movimiento de tierras durante la construcción por lo que no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación. La combinación de alineamientos horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.
Ondulado	Entre 3% y 6%	Entre 6° y 13°	Requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación. Baja velocidades en los vehículos pesados sin presentar velocidad sostenida por pendientes ascendentes.
Montañoso	Entre 6% y 8%	Entre 13° y 40°	Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en pendientes ascendentes durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.
Escarpado	$\geq 8\%$	$\geq (40^\circ)$	Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas.

Nota. Se puede evidenciar el tipo de terreno según las pendientes dentro de la vía. Adaptado de Manual de diseño geométrico de carreteras (P. 5-6), 2008.

Dentro del tramo de estudio la vía Bogotá – Villavicencio se tiene un terreno montañoso con pendientes promedio esta entre 6% y 8%, lo cual hace que los vehículos pesados tengan que frenar constantemente.

Velocidad

En el diseño geométrico de una carretera, la velocidad constituye uno de los criterios fundamentales para definir las características de la infraestructura vial. Su determinación influye

directamente en aspectos como el trazado, la visibilidad y las condiciones de operación, por lo que debe establecerse de manera que exista una adecuada interacción entre las capacidades del vehículo, las necesidades del usuario y las condiciones propias de la vía, garantizando así niveles apropiados de seguridad y confort.

Tabla 5.

Velocidad de diseño según tipo de carretera

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Nota. Se tiene la categoría de la carretera, el tipo de terreno para así establecer la velocidad de diseño. Tomado de Manual de diseño geométrico de carreteras (P. 38), 2008.

Para garantizar la uniformidad en las condiciones de operación de una carretera, los tramos diseñados bajo una misma velocidad de referencia deben mantener una longitud suficiente que permita a los conductores adaptarse adecuadamente a las características de la vía. En términos generales, se recomienda que los segmentos asociados a velocidades comprendidas entre 20 y 50 km/h tengan una

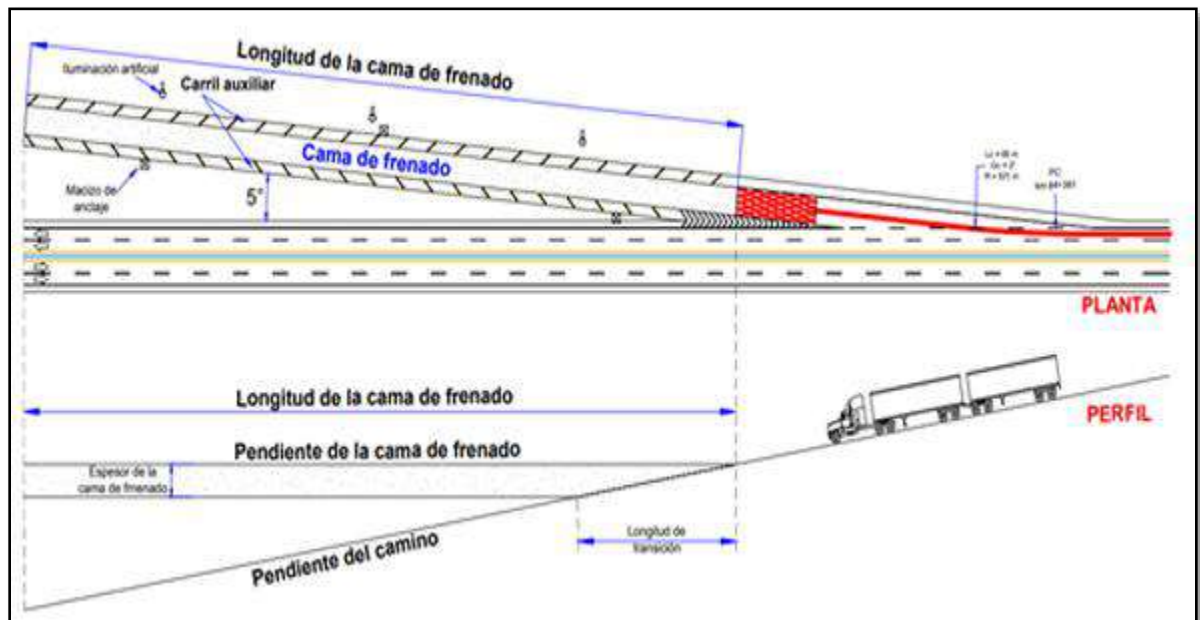
extensión no inferior a tres kilómetros, mientras que para velocidades entre 60 y 110 km/h la longitud mínima considerada debe ser de cuatro kilómetros.

Rampas de frenado de emergencia

Las rampas de frenado de emergencia corresponden a infraestructuras complementarias ubicadas junto a la vía principal, cuya función es ofrecer una alternativa segura a los vehículos que han perdido su capacidad normal de detención. Estas situaciones suelen estar asociadas a fallas mecánicas, especialmente en los sistemas de frenos, que impiden al conductor controlar adecuadamente la velocidad del vehículo. Su diseño incorpora elementos que permiten reducir progresivamente la velocidad mediante la resistencia generada por materiales de alta fricción, la inclinación del terreno o sistemas especializados de retención, favoreciendo así una detención controlada y disminuyendo el riesgo de siniestros de gran magnitud. (ANI, 2022).

Figura 9

Diseño rampa de frenado vista desde planta y perfil



Nota. Se observa tanto en planta como en perfil la rampa de frenado de emergencia y sus características. Tomado de Rampas de frenado en la concesión Briceño-Tunja-Sogamoso (p.26), Gutiérrez & cubillos. 2020.

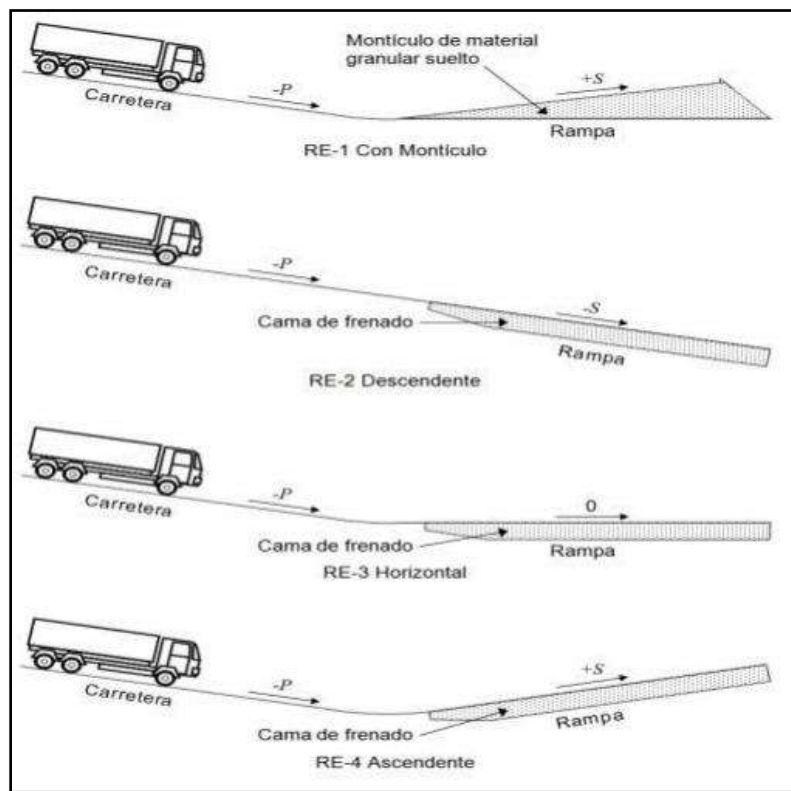
Según la norma oficial mexicana NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras. Existen 4 tipos de rampas de frenado las cuales son.

Rampas con montículo: La cual está conformada por un material granular suelto y seco, esta tiene una pendiente ascendente, la cual tiene como objetivo disipar energía para disminuir la velocidad de los vehículos hasta que estos se detengan.

Rampas descendentes: Cuentan con una cama de frenado la cual es uniforme a la pendiente que se tiene en la vía donde la detención de los vehículos se da principalmente por la resistencia a la rodadura, por lo general estas rampas son de mayor longitud esto en base a la pendiente que se tiene.

Rampas horizontales: Tiene una cama de frenado horizontal con un espesor uniforme dependiendo de las características del material granular y la velocidad de diseño de la vía, la detención de los vehículos se da debido a la resistencia de la capa de rodadura, en este caso el material de la cama de frenado.

Rampas ascendentes: Al igual que las dos rampas anteriores esta también está compuesta por una cama de frenado, para la detención de los vehículos se debe a la resistencia del material y el efecto generado por una pendiente ascendente, la cual contribuye de manera natural a la reducción de la velocidad del vehículo.

Figura 10.*Tipos de rampa de frenado*

Nota. Se evidencia los tipos de rampa de frenado de emergencia que existen. Tomado de.

https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6151/sct11_C/sct11_C.html

Se tienen algunas definiciones importantes dentro del estudio realizado ya que se utilizan constantemente.

Tasas de accidentalidad: Hace referencia a la cantidad de siniestros viales por cada 100.000 habitantes, el índice de accidentalidad corresponde a un indicador utilizado para evaluar la frecuencia con la que se presentan siniestros de tránsito en un territorio determinado durante un período específico. Este parámetro permite analizar el comportamiento de la seguridad vial y constituye una herramienta de apoyo para la identificación de tendencias y la formulación de estrategias orientadas a la prevención de accidentes.

Puntos Críticos de accidentalidad: Aquellos lugares que concentran la ocurrencia de siniestros de tránsito.

Tipos de vehículos.

Automóvil: Vehículo de motor que sirve para el transporte de personas o cosas.

Autobús: Automóvil que tiene más de 9 plazas incluida la del conductor, concebido y construido para el transporte de personas y sus equipajes.

Motocicleta: Vehículo de dos ruedas motorizado que ha sido diseñado para transportar a una o dos personas.

Tipos de camiones.

C2: Camión rígido de dos ejes.

C3: Camión rígido de tres ejes.

C4: Camión rígido de cuatro ejes

2S1: Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje.

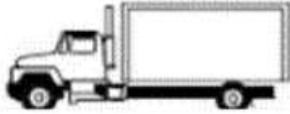
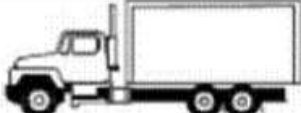
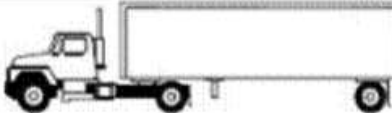
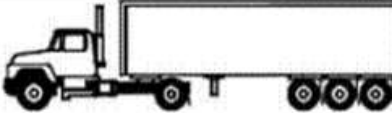
3S2: Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes.

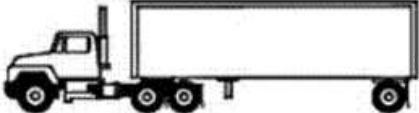
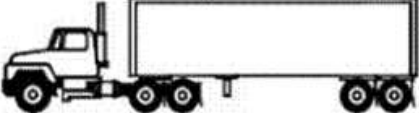
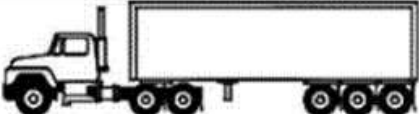
2S3: Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes.

3S1: Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje.

3S3: Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes.

Figura 11*Tipos de camiones en Colombia*

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión Sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
4		Camión de cuatro ejes
2S1		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje
2S3		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes

Designación	Configuración	Descripción
3S1		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Nota. Se evidencian los tipos de camiones que más circulan en Colombia. Adaptado de RESOLUCIÓN 20223040045295 DE 2022, Ministerio de Transporte.

Elementos de una rampa de frenado

Según la norma oficial mexicana NOM-036-SCT2 (2016) Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

En tramos con pendiente descendente, la localización de las rampas de frenado debe planificarse de forma que los vehículos que hayan perdido el control no tengan que atravesar carriles destinados al tránsito en sentido contrario, reduciendo así el riesgo de colisiones adicionales. Por esta razón, su implantación suele realizarse en el costado correspondiente al flujo vehicular, excepto en carreteras con calzadas independientes donde exista una franja central suficientemente amplia y segura para su construcción. Asimismo, estas estructuras deben ubicarse antes de sectores de la vía que, debido a sus características geométricas u operacionales, puedan incrementar las consecuencias de una eventual pérdida de control de un vehículo.

La velocidad de entrada a una rampa de emergencia para frenado puede determinarse mediante la siguiente expresión, con un límite máximo de ciento cuarenta 140 kilómetros por hora.

$$V_e = (V_p^2 - 254 \sum_{i=1}^n L P_i (R_p + P_i))^{\frac{1}{2}}$$

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

V_p = Velocidad de operación en kilómetros por hora en el sitio de entrada a rampa.

n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes que integran el tramo para el que se proyecta la rampa.

$L p_i$ = Longitud del subtramo i con la pendiente descendente p_i en metros.

R_p = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (0.010 para pavimentos de concreto hidráulico y 0.012 para pavimentos asfálticos)

P_i = Pendiente descendente del subtramo i de longitud L_i , en metro/metro

Se deben tener en cuenta diferentes parámetros para el diseño y construcción de una rampa de frenado de emergencia Según la norma oficial mexicana (2016) Rampas de emergencia para frenado en carreteras se tienen las siguientes características.

Geometría

La geometría para las rampas de frenado se debe determinar considerando lo siguiente

Ancho: El diseño geométrico de la rampa debe contemplar un ancho que favorezca tanto la incorporación de los vehículos que requieren una detención de emergencia como las maniobras posteriores asociadas a su remoción. Para ello, se dispone una superficie destinada al frenado con dimensiones que habitualmente oscilan entre 10 m y 12 m, además de una vía auxiliar de servicio cercana a los 5 m de ancho, destinada a las actividades operativas y de apoyo.

Longitud: La longitud total de la rampa debe medirse desde el borde de la plataforma de la carretera hasta su punto final. Esta dimensión incluye tanto el tramo de acceso pavimentado como la zona destinada al frenado. El acceso debe contar con una extensión suficiente para garantizar una transición gradual entre la pendiente de la vía principal y las condiciones geométricas iniciales de la rampa, mientras que la longitud de la superficie de frenado debe ser la necesaria para asegurar la detención completa y segura de los vehículos que ingresen a ella.

La longitud de la cama de frenado se debe calcular de la siguiente manera.

Para calcular la longitud efectiva de la cama de frenado, si su pendiente es uniforme, se debe aplicar la siguiente expresión.

$$Le = \frac{Ve^2}{254(R_m + SI)}$$

L_e = Longitud efectiva de la cama de frenado en metros.

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

R_m = Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado.

SI = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es .. ascendente o negativa si es descendente.

Tabla 6.

Resistencia a la rodadura de materiales para cama de frenado

Material de la cama de frenado	Resistencia a la rodadura kg/1 000 kg GVM)
Grava compactada	15
Tierra arenosa suelta	37
Agregado triturado suelto	50
Grava suelta	100
Arena	150
Gravilla	250

Nota. Se puede evidenciar la resistencia a la rodadura de los diferentes materiales que se pueden utilizar para la cama de frenado dentro de la rampa. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011.

Cuando la superficie de frenado presenta variaciones en su pendiente a lo largo del recorrido, la determinación de la longitud efectiva debe realizarse mediante un análisis secuencial de la velocidad del vehículo en cada tramo. Para ello, se calcula la velocidad alcanzada al finalizar cada segmento y dicho valor se adopta como condición inicial para el tramo siguiente. Este procedimiento se repite de forma progresiva hasta identificar la distancia necesaria para que el vehículo reduzca completamente su velocidad y alcance la detención total. Los cálculos correspondientes pueden efectuarse mediante las expresiones que se presentan a continuación.

$$VF_j^2 = VI_j^2 - 254L_j(R_m \pm S_j)$$

$$L_e = \sum_{j=1}^k L_j$$

VF_i = Velocidad final al término del subtramo j que se analiza de la cama de frenado en kilómetros por hora.

VI_j = Velocidad inicial en el subtramo j que se analiza de la cama de frenado que corresponde para el primer subtramo, a la velocidad de entrada (V_e) en kilómetros por hora.

L_j = Longitud efectiva del subtramo j que se analiza de la cama de frenado en metros.

R_m = Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado.

Teniendo en cuenta estos factores para realizar los cálculos referentes a las diferentes partes de una rampa de frenado de emergencia

La norma mexicana nom-036-sct2 (2016) expone que

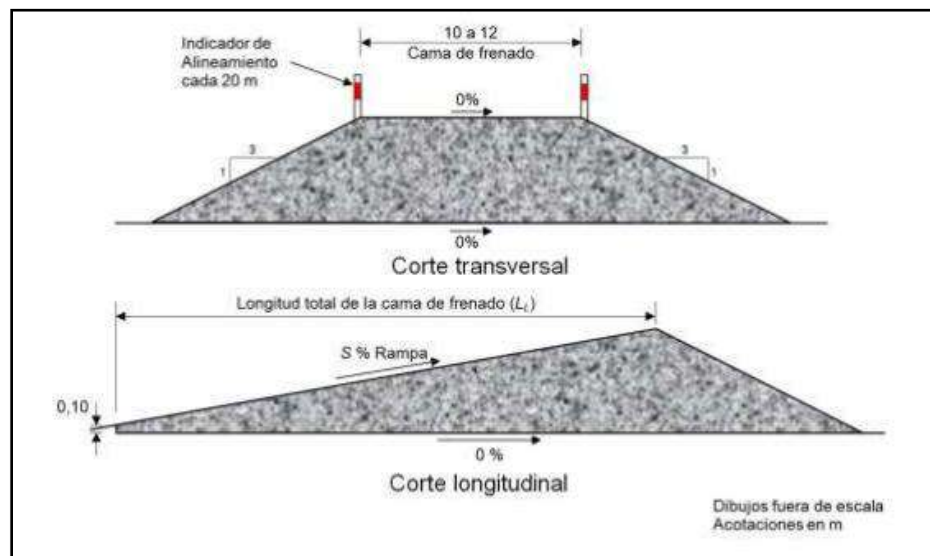
que la longitud de la cama de frenado (l_e), debe tener un 25% más de longitud como factor de seguridad; si por factores topográficos o físicos del terreno este impide que la cama de frenado tenga la longitud determinada, esta debe contar con dispositivos que sean capaces de detener el vehículo sin ocasionar daño a los ocupantes como lo puede ser montículos de arena, barreras de barriles en plástico con agua en su interior, lo que ayudara a tener una frenada más eficiente sin dañar a los ocupantes.

Espesor de la cama de frenado: El diseño de las rampas de frenado de emergencia debe considerar diversos factores técnicos asociados a su configuración y funcionamiento. Entre ellos, uno de los más importantes es el espesor de la cama de frenado, ya que este elemento desempeña un papel fundamental en la disipación de la energía cinética de los vehículos que ingresan a la rampa. Su adecuada definición permite que la reducción de velocidad se produzca de manera progresiva hasta alcanzar la detención completa del vehículo.

Por esta razón, la determinación del espesor debe realizarse mediante criterios de diseño que garanticen una desaceleración controlada, permitiendo que la energía del vehículo sea absorbida de forma gradual y segura. (Norma Mexicana nom-036-sct2, 2016).

Figura 12

Corte transversal y longitudinal de rampa de frenado



Nota. Se evidencia los cortes transversal y longitudinal de la cama de frenado. Tomado de

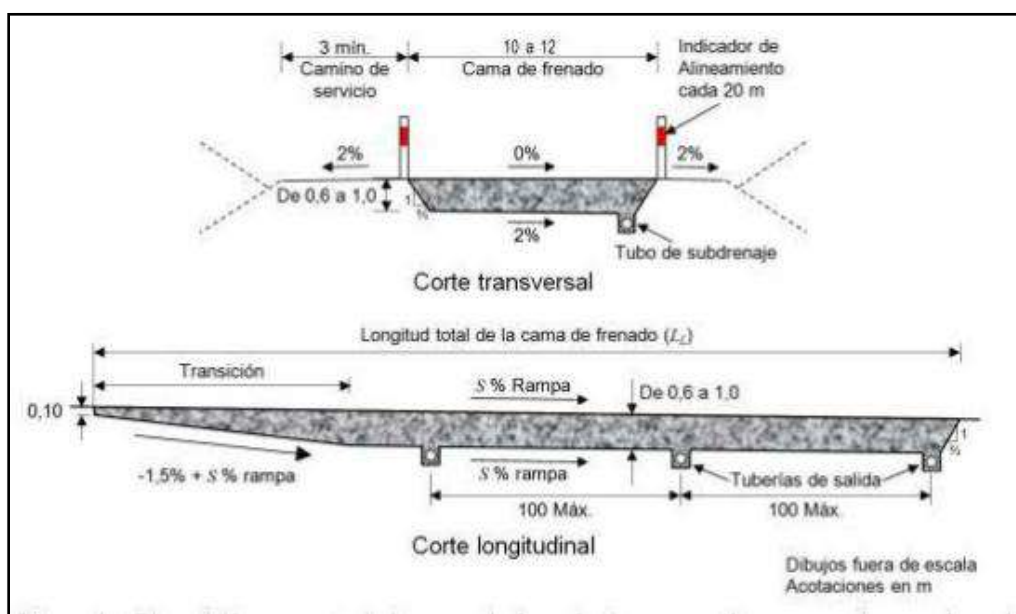
https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6151/sct11_C/sct11_C.html

La capa de material destinada al frenado debe diseñarse con dimensiones que permitan una desaceleración segura y controlada de los vehículos, independientemente de que la rampa presente una configuración descendente, horizontal o ascendente. Generalmente, esta capa se dispone dentro de una excavación conformada en el terreno de la rampa y debe contar con un espesor suficiente para absorber la energía del vehículo durante el proceso de detención. Con el propósito de evitar cambios bruscos en la velocidad al momento del ingreso, la superficie de frenado debe iniciar con una profundidad reducida y aumentar gradualmente hasta alcanzar el espesor previsto en el diseño. Esta transición progresiva favorece una desaceleración más uniforme y reduce los impactos sobre el vehículo y sus ocupantes.

Cuando se emplean materiales granulares triturados como medio de frenado, resulta necesario adoptar espesores mayores que garanticen una adecuada capacidad de disipación de energía y un desempeño eficiente durante la operación de la rampa. (Norma oficial Mexicana nom-036-SCT2,2016).

Figura 13

Corte transversal y corte longitudinal donde se evidencia el espesor de la rampa de frenado



Nota. Se evidencia el espesor de la cama de frenado. Tomado de

https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6151/sct11_C/sct11_C.html

Señalización

Señalización según normativa colombiana

Según lo establecido en el manual de señalización vial de Colombia 2024

Se debe tener una pre - señalización donde se deben instalar dos señales verticales informativas de color de fondo rojo, donde se indique el lugar de la rampa de emergencia, estas deben de estar

ubicadas en un lugar visible para los conductores, las cuales entre los 2 km y los 0,5 km antes del acceso a la rampa de emergencia.

Señal informativa de dirección. Se debe tener una señal informativa a una distancia previa de 300 m indicando la dirección de salida hacia la rampa.

Señal de salida inmediata. La señal informativa con fondo de color rojo, que alerte sobre la Salida Inmediata del vehículo hacia rampa de emergencia, se debe instalar en la bifurcación que conduce a ésta la cual debe indicar con claridad la maniobra que debe realizar el conductor.

Señales de prevención. Se deben instalar señales preventivas donde se indique la pendiente con fuerte descenso.

Demarcación especial. Se debe demarcar sobre el pavimento una línea longitudinal continua de color rojo de un ancho de 0,12 m, reforzada con tachas rojas reflectivas distanciadas a cada 6 m, la cual indique al conductor la trayectoria que debe seguir hasta llegar a la rampa de emergencia.

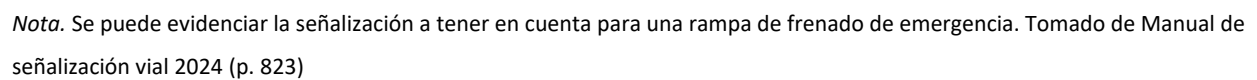
Esta línea debe marcarse a lo largo la vía en el centro del carril, desde una distancia mínima de un kilómetro antes del acceso a la rampa. Se deben ubicar con dos señales con la leyenda “vehículo sin frenos, siga línea roja”. La primera al inicio de la línea roja, y la segunda 500 m después del inicio de la línea roja.

se debe demarcar con una cuadrícula roja y blanca conformada por celdas de 40 cm x 40 cm en vías bidireccionales se debe advertir al usuario que circula en sentido contrario, la presencia de dicha infraestructura mediante la instalación de señales verticales informativas, y preventivas.

Delineación dentro de la rampa de emergencia. Se deben instalar delineadores verticales tipo delineador tubular simple, ubicados lateralmente a cada costado de la rampa; de color rojo o negro y con franjas blancas en material retro reflectivo localizado cada 5 m.

Lugar de inspección de frenos. Es necesario contar con un lugar de detención vehicular para que se enfríe el sistema de frenado del vehículo y así poder inspeccionar el sistema de frenos En este lugar.

Señalización para rampas de emergencia y lechos de frenado



Metodología

Tipo de investigación

Enfoque de la investigación. De acuerdo con el tipo de estudio que se desea ejecutar, este proyecto se ajusta a una metodología de enfoque cuantitativo, debido a que se realizó consultas y análisis de siniestros viales para la determinación de puntos críticos de accidentalidad y diseño de rampa de frenado mediante el uso de software y encontrar una propuesta que se ajuste a las necesidades y características de la zona.

Tipo de investigación. En cuanto al tipo de investigación que se logra identificar en este proyecto, es un estudio descriptivo, ya que se enfocó en describir las condiciones actuales en la zona de estudio donde se presentan los siniestros, lo anterior con apoyo de fotografías, visitas a campo y diseño de las rampas de frenado o emergencia.

Población y muestra estudiada. El análisis y caracterización de la zona objeto de estudio se realizó en los siniestros ocurridos en la vía Bogotá Villavicencio en el tramo peaje Boquerón 1 k04 + 200 hasta la salida de Chipaque k12+260

Variables. Durante el análisis del proyecto, se llevó a cabo la identificación y clasificación de las variables relevantes, las cuales se alinean con la pregunta de investigación. Esta correspondencia facilita la organización de la información y permite analizar cómo la aplicación de tecnologías de modelación puede incidir en el diseño eficiente de una rampa de frenado o de emergencia.

Variable independiente. Dentro de la variable independiente se encuentran factores como: comportamiento de conductores, mantenimiento de vehículos, categoría de los conductores.

Variable dependiente. Esta es la variable que puede ser afectada por los cambios de la variable independiente. En el caso de este proyecto, es la topografía, espacios requeridos, infraestructura

necesaria. El diseño y ubicación de la rampa de frenado variará de acuerdo con la topografía, velocidad y diseño geométrico.

Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de información

Para la recolección de información se realizó consulta de información secundaria en cuanto a planos topográficos, diseño geométrico de la vía, TPD, velocidad, tipos de vehículos para el análisis de la información se utilizaron herramientas como estadística y modelación con el cual se recopiló la información y se sistematizó a través de gráficos que se emplearon para determinación de los siniestros en las vías y modelación de la rampa. Se realizó un análisis de las condiciones actuales de la zona en cuanto a infraestructura con la visita al sitio en la zona de estudio y una inspección vial, lo anterior con el fin de obtener una descripción de sitio y ajustar una alternativa de diseño

Fases de investigación

Fase 1. Revisión bibliográfica y normativa

Dentro de esta fase se realizó la recopilación y análisis de información secundaria relacionada con el diseño de rampas de frenado de emergencia, la siniestralidad vial y el diseño geométrico de carreteras. Se consultaron documentos técnicos, normativas vigentes, manuales de diseño vial y estudios previos, con el propósito de establecer los fundamentos teóricos y criterios técnicos que orientaron el desarrollo del proyecto.

Fase 2. Recolección de información

Se obtuvo la información relevante para el estudio, incluyendo datos de siniestros viales, planos topográficos, características geométricas de la vía, tránsito promedio diario (TPD), velocidades de operación y clasificación vehicular. Esta información se complementó mediante visitas de campo e

inspección visual del tramo en estudio, permitiendo una comprensión integral de las condiciones reales del entorno.

Fase 3. Diagnóstico y análisis de la zona de estudio

Se realizó la caracterización del tramo vial comprendido entre el peaje Boquerón 1 (k04+200) y la salida de Chipaque (k12+260), identificando los puntos críticos de accidentalidad y las condiciones de riesgo presentes. En esta fase se analizaron variables como la pendiente longitudinal, el trazado geométrico, el estado de la infraestructura y el comportamiento de los conductores.

Fase 4. Procesamiento y análisis de la información

La información recolectada fue organizada, clasificada y analizada mediante herramientas estadísticas y técnicas de modelación. Se elaboraron tablas y representaciones gráficas que facilitaron la identificación de patrones de accidentalidad y la relación entre las variables consideradas en el estudio.

Fase 5. Diseño de la rampa de frenado de emergencia

Con base en los resultados obtenidos, se procedió al diseño de la rampa de frenado de emergencia mediante el uso de software especializado civil 3d. En esta fase se definieron parámetros como la ubicación, longitud, pendiente, tipo de material y geometría de la rampa, considerando las condiciones topográficas y operacionales del tramo analizado.

Fase 6. Evaluación de la propuesta

Se evaluó la viabilidad técnica del diseño planteado, verificando su funcionalidad frente a posibles escenarios de falla en los sistemas de frenado. Asimismo, se analizaron los beneficios potenciales en términos de reducción de la accidentalidad y mejora de la seguridad vial.

Fase 7. Elaboración de conclusiones y recomendaciones

Finalmente, se formularon las conclusiones del estudio con base en los resultados obtenidos, así como recomendaciones orientadas a la implementación del diseño propuesto y a futuras investigaciones en el área.

Desarrollo

Capítulo I: definición de zonas críticas de accidentalidad

La vía Bogotá Villavicencio es una de las vías principales a nivel nacional debido a que circulan todo tipo de mercancías lo cual ayuda con el desarrollo del país, esta vía tiene un alto índice de

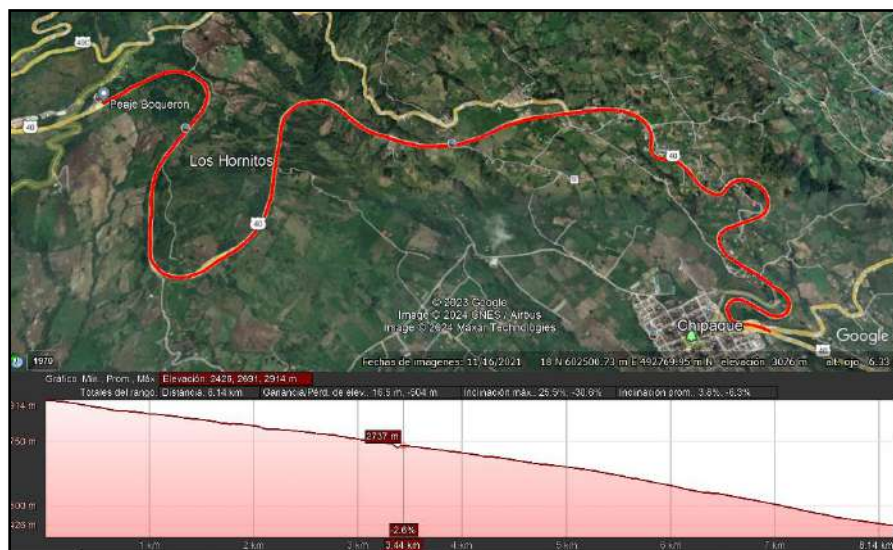
Accidentalidad, mayormente los vehículos de carga pesada ya que en la mayoría de las ocasiones presentan problemas en el sistema de frenado, debido a que tienen que estar frenando constantemente por las altas pendientes, de igual manera los conductores de los vehículos de carga pesada circulan a velocidades mayores a las permitidas donde se tienen pendientes muy altas lo cual hace que se presenten fallas mecánicas o que se pierda el control del vehículo.

Condiciones topográficas

Dentro del tramo de estudio se puede evidenciar que se encuentra una pendiente promedio no mayor del 7% desde k04+800 hasta k12+256.

Figura 15

Pendiente promedio del tramo en estudio

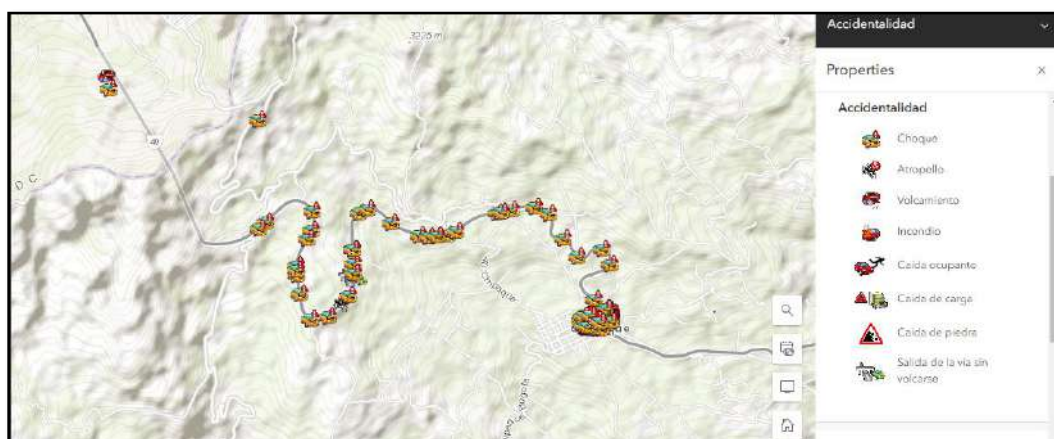


Nota. Se evidencia un perfil donde se presenta la pendiente promedio de 5.05 %. Tomado de “Google earth”

Tipos de accidentes dentro del tramo en estudio

Figura 16.

Tipos de accidentes dentro del tramo en estudio.



Nota. Se puede evidenciar los tipos de accidentes que se presentan en el tramo de estudio Tomado de

<https://invias.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=f4aeaa7aa3f647a18cd8fe6265e5d529>

Tabla 7.

Accidentes de tránsito dentro del tramo de estudio.

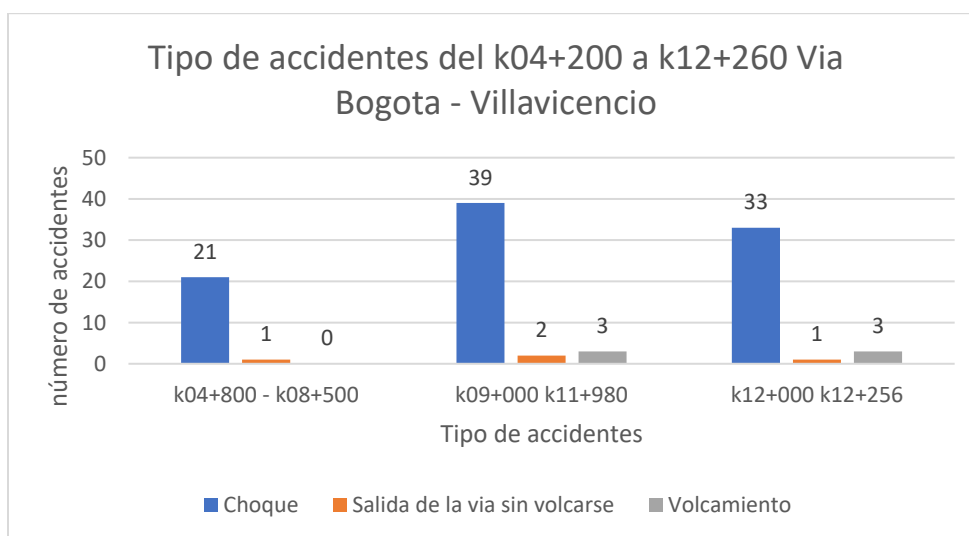
Accidentalidad tramo de estudio			
Km	k04+200 - k08+500	k09+000 - k11+980	k12+000 k12+260
Choque	21	39	33
Salida de la vía sin volcarse	1	2	1
Volcamiento	0	3	3

Nota. Se evidencia la accidentalidad presentada desde peaje Boquerón 1 (k04+200) hasta la salida de Chipaque (k12+260) de la vía Bogotá – Villavicencio. Adaptado de.

<https://invias.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=f4aeaa7aa3f647a18cd8fe6265e5d529>

Figura 17

Tipos de accidentes dentro del tramo de estudio



Nota. Se puede evidenciar los tipos de accidentes que se presentaron dentro del tramo de estudio. Donde el choque es el accidente que más se repite. Tomado de fuente propia.

Transito promedio

Tabla 8.

Tránsito vehicular corredor vial Bogotá- Villavicencio, Peaje Boquerón 1

Año (2023-2024)	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Cat 6	Cat 7	Total, mensual
	autos camperos y camionetas	Vehículos de transporte publico	Camiones pequeños de dos ejes	Camiones grandes de dos ejes	Camiones de 3 y 4 ejes	Camiones de 5 ejes	Camiones de 6 ejes o mas	
Junio	236713	8891	27068	15192	11213	17186	21464	337727
Julio	179798	5914	18838	9844	7549	11358	14417	247718
Agosto	93093	3760	20333	10792	7624	11334	17904	164840
Septiembre	132613	5282	26056	14655	11367	17729	30235	237937
Octubre	203423	9047	28673	15894	12556	17783	28820	316196
Noviembre	208295	9239	30515	16317	12663	17927	28487	323443
Diciembre	259358	10666	29911	15477	11932	16605	26672	370621
Enero	191417	8312	27105	13716	10034	14594	21580	286758
Febrero	150546	7495	28830	14801	11773	15903	22500	251848
Marzo	236290	9607	27991	14582	10324	15439	22128	336361
Abril	167553	9308	29998	15926	11231	17378	29390	280784
Mayo	179197	91278	29288	16356	11262	17188	27969	372538
Total, Anual								3526771

Nota. Se tiene el tránsito vehicular dentro del corredor vial Bogotá – Villavicencio y las categorías de los vehículos en el peaje Boquerón 1. Tomado de Fuente propia.

Transito promedio diario

$$TA = \sum_{i=1}^{12} TM_i$$

$$TA = 3526771$$

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

$$TPDA = \frac{3526771}{365} = 9662 \text{ Vehiculos por dia}$$

Indicadores de accidentalidad

Los indicadores de accidentalidad corresponden a herramientas de medición que permiten evaluar y describir, mediante información cuantificable, el comportamiento de la seguridad vial en un

contexto determinado. Su utilidad radica en facilitar el análisis de tendencias, la identificación de problemáticas y el seguimiento de los resultados obtenidos a partir de las acciones implementadas. Para cumplir adecuadamente esta función, deben caracterizarse por ser claros, objetivos, medibles, verificables y suficientemente sensibles para reflejar los cambios que ocurran a lo largo del tiempo. (Agencia de Seguridad Vial, 2016).

Índice por motorización

$$\text{índice por motorización} = \frac{\text{Número de accidentes}}{\text{Número de vehículos}}$$

$$\text{índice por motorización} = \frac{103}{9662} = 0.010$$

Índice por tránsito

$$\text{índice por motorización} = \frac{\text{Número de accidentes}}{\text{Número de vehículos} - \text{km}}$$

$$\text{índice por motorización} = \frac{103}{805} = 0.12$$

Índice de severidad

Hace referencia al número de incidentes totales en un periodo o tiempo determinado y el transito promedio diario en un determinado sector.

$$\text{Índice de severidad} = \frac{N_e \times 10^6}{TPD \times N \times l}$$

$$\text{Índice de severidad} = \frac{103 * 10^6}{9662 * 5 * 8,06} = 264,52$$

Donde:

N_e = Total de incidentes equivalentes en el periodo de tiempo estudiado

N: Periodo considerado para realizar el estudio

TPD: Transito promedio diario en el sector (veh/día).

L: Longitud del sector en kilómetros

Se evidencian los diferentes puntos críticos dentro del tramo en estudio.

- Del k09+000 al k10 +500
- Del k10+550 al k12+256

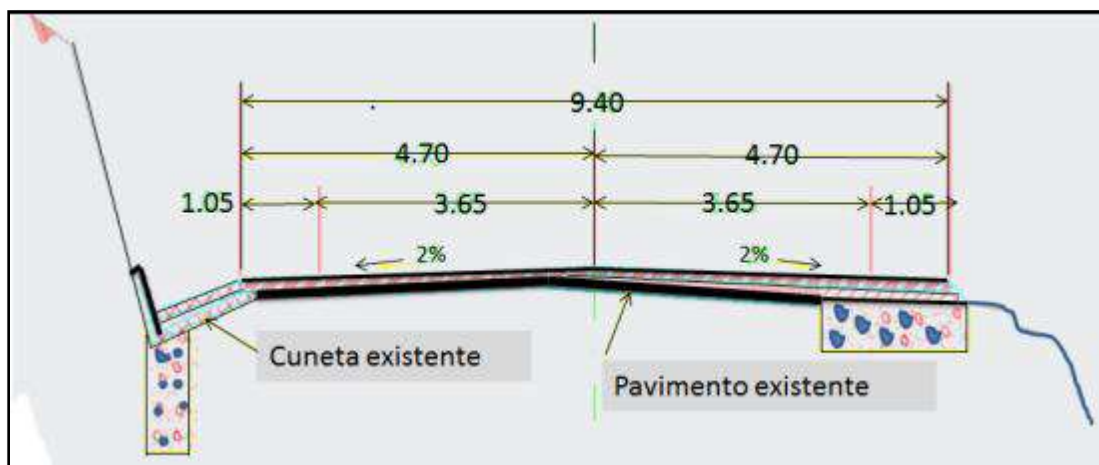
Dentro de estos tramos mencionados es donde se presenta un mayor indicie de accidentalidad por lo tanto lo ideal seria ubicar la rampa de frenado dentro de esta zona o antes de entrar a esta zona.

Capítulo 2. descripción de la vía.

Sección transversal típica de la vía.

Figura 18.

Sección transversal típica de la vía.



Nota. se evidencia la sección transversal típica dentro del corredor vial Bogotá - Villavicencio. Tomado de

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/server/api/core/bitstreams/ab6216a2-7f37-49f9-b070-8580a01e3742/content>

Se realiza un recorrido en el tramo de estudio y se realizó un registro fotográfico donde se puede evidenciar las altas pendientes que se presentan dentro del tramo en estudio, así mismo se encuentra señalización indicando las altas pendientes y las curvas con alto índice de accidentalidad. De igual manera dentro del tramo se tiene una velocidad promedio de 50 km/h.

Figura 19.

Señal vertical informativa de descenso peligroso.

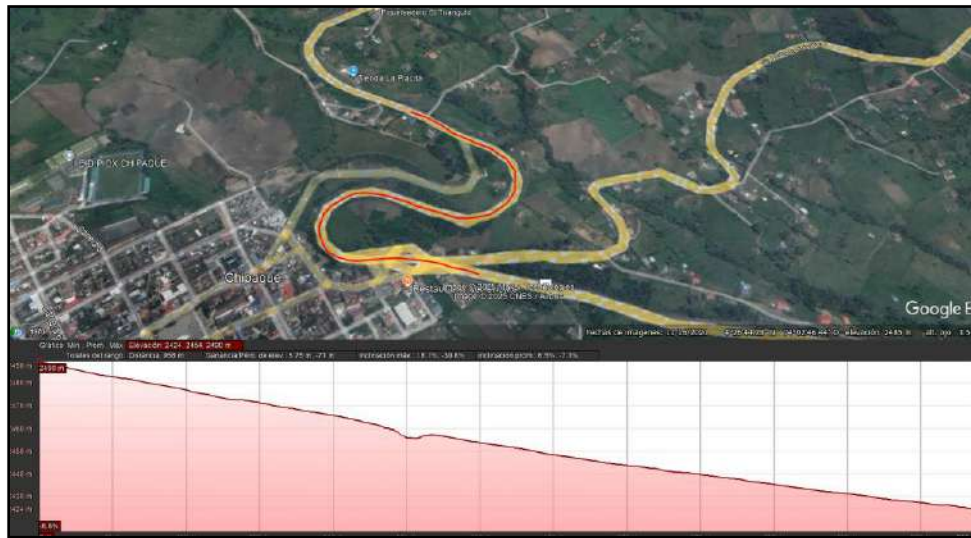


Nota. Se observa una señal vertical en el k11 + 880 donde se indica "Descenso peligroso revise frenos" Tomado de Fuente propia

Según como se establece en el manual de diseño geométrico de carreteras, cuando se realizó la visita en sitio se pudo observar una curva horizontal, más curva vertical en descenso, de igual manera se estableció mediante Google Earth una pendiente del 6.5%

Figura 20.

Pendiente en el tramo k11+ 400



Nota. Se evidencia la pendiente establecida desde el k11+400 hasta el k12+256. Tomado de Google earth.

Figura 21.

Curva horizontal, más curva vertical en descenso con pendiente del 6.5%



Nota. Se evidencia que es una curva horizontal con una pendiente del 5.8% Tomado de. Fuente propia

Figura 22.

Señal vertical informativa de descenso peligroso. K06 +600



Nota. Se observa una señal vertical en el k06 + 600 donde se indica “Descenso peligroso revise frenos” Tomado de Fuente propia.

Figura 23

Señal vertical informativa de descenso peligroso en el k04+220



Nota. Se observa una señal vertical en el k04+ 220 donde se indica “Descenso peligroso revise frenos” Tomado de Fuente propia.

Figura 24

Señal vertical informativa de descenso peligroso k03 +380



Nota. Se observa una señal vertical en el k03+ 380 donde se indica “Descenso peligroso revise frenos” Tomado de Fuente propia.

Figura 25.

Señal vertical informativa de curva de alta accidentalidad en el k09 +220



Nota. Se observa señal vertical en el k09+ 220 donde se indica “curva de alta accidentalidad” Tomado de Fuente propia.

Dentro de la visita de campo realizada el día 26 de abril de 2025, se pudo observar que la señalización informativa que hay no cumple con los tamaños y colores de las señales informativas actuales.

Capítulo 3: ubicación de sistema de frenado de emergencia

Ya identificada la necesidad de una rampa de emergencia para frenado en el tramo en estudio, se debe ubicar el lugar preciso donde habrá que construirla. Estas deberán construirse en una ubicación en la que los vehículos fuera de control puedan prevenir volcarse antes de ingresar a la rampa, se deben ubicar antes de curvas horizontales, o zonas pobladas donde el paso de vehículos descontrolados represente un peligro potencial.

En vías que se encuentren operación, otro factor será la presencia de siniestros viales por causa del fallo en el sistema de frenado. La determinación de la ubicación exacta de una rampa de emergencia depende de factores como la topografía de la zona, la pendiente, la velocidad y la longitud influyen en la ubicación de está por lo tanto debe cumplir con distancias de visibilidad y comodidad para acceder a la rampa, ya que cada pendiente tiene sus propias características.

Ubicación de las dos alternativas para la ubicación de la rampa de frenado

Según los estudios previos realizados donde se tienen en cuenta diferentes factores como lo son los índices de accidentalidad, topografía de la zona y diseño geométrico de la vía se definen *dos* alternativas *dentro* del tramo en estudio *desde* k04+200 tramo peaje de Boquerón 1 hasta el k12+260 salida de Chipaque donde se ubicarán las dos alternativas para la rampa de frenado de emergencia.

Figura 26

Ubicación de la alternativa número 1 de rampa de frenado de emergencia



Nota. Se indica la ubicación de la alternativa número 1 km 08+640 donde se diseñará la entrada el sistema de frenado de emergencia Tomado de Google Earth.

Figura 27

Vista del lugar de la alternativa 1 donde se ubicará la rampa de frenado dentro del corredor vial.



Nota. Se evidencia el sitio de la alternativa numero 1 km 08 + 640 donde se ubicará el sistema de frenado Tomado de Google Earth.

Figura 28

Ubicación de la alternativa número 2 de rampa de frenado de emergencia



Nota. Se indica la ubicación de la alternativa número 2 km 10+800 donde se diseñará la entrada el sistema de frenado de emergencia Tomado de Google Earth.

Figura 29.

Vista del lugar de la alternativa 2 donde se ubicará la rampa de frenado dentro del corredor vial.



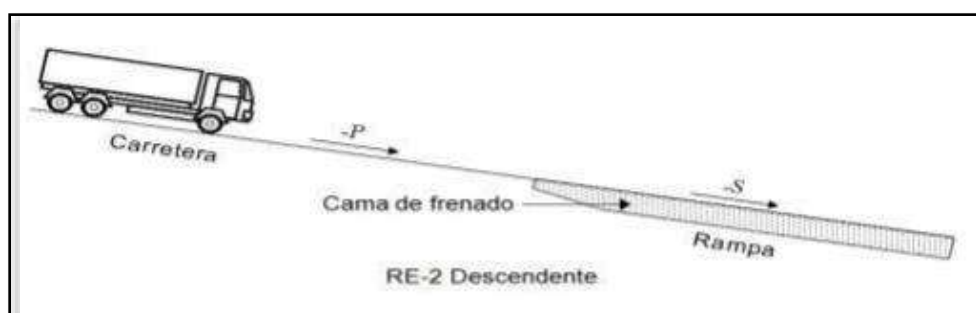
Nota. Se evidencia el sitio de la alternativa número 2 km 10+800 donde se ubicará el sistema de frenado Tomado de. Google Earth

Memorias de cálculo para determinar la longitud del lecho de frenado para la rampa de emergencia para la alternativa número 1 en el km 08 + 640

De acuerdo a las condiciones topográficas y aplicando la A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011, la rampa que mejor se adapta es una rampa de grado horizontal

Figura 30.

Rampa de grado descendente



Nota. Tomado de https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6151/sct11_C/sct11_C.html

calculo la velocidad de entrada V_e

$$V_e = (V_p^2 - 254 \sum_{i=1}^n L P_i (R_p \pm P_i)^{\frac{1}{2}})$$

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

V_p = Velocidad de operación en kilómetros por hora en el sitio de entrada a rampa.

n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes que integran el tramo para el que se proyecta la rampa.

$L p_i$ = Longitud del subtramo i con la pendiente descendente p_i en metros.

R_p = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (0.010 para pavimentos de concreto hidráulico y 0.012 para pavimentos asfálticos)

P_i = Pendiente descendente del subtramo i de longitud L_i , en metro/metro

Datos.

$$V_p = 50 \text{ km/h}$$

$$L_{p_i} = 234 \text{ m}$$

$$R_p = 0.012$$

$$P_i = 5.6\%$$

Realizando el cálculo se obtiene que:

$$V_e = \sqrt{50^2 - 254 \times 234 (0.012 - 0.056)}$$

$$V_e = 71.5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ Velocidad entrada de la rampa}$$

$$L_e = \frac{V_e^2}{254(R_m + SI)}$$

Aplicamos la fórmula para conocer la longitud efectiva de la cama de frenado

Donde:

L_e = Longitud efectiva de la cama de frenado en metros.

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

R_m = Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado.

SI = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente. Si

es una rampa de grado horizontal la pendiente es 0.

Datos:

$$V_e = 117$$

$$R_m = 0.25$$

$$SI = -5.50\%$$

$$Le = \frac{71.5^2}{254(0.25 + (-5.50\%))}$$

$$Le = 103 \text{ m}$$

La longitud total de la cama de frenado, (LT) debe ser veinticinco (25) por ciento mayor que su longitud efectiva Le, en donde aplicando este factor de 1.25 a obtenemos:

$$LT = 129 \text{ m}$$

La longitud total de la Cama de Frenado a utilizar en este tramo es de 129 m

Tabla 9.

Datos y resultados obtenidos de alternativa n°1 de la rampa de frenado de emergencia

V_p : Velocidad de operación del sitio de entrada a la rampa	50 km/h
L_{p_i} : Longitud del subtramo i con la pendiente descendente	234 m
R_p : Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (asfalto)	0.012
P_i : Pendiente descendente del subtramo i de longitud L_{p_i}	5.6%
V_e : Velocidad de entrada a la rampa	71.5 km/h
R_m : Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado. (gravilla)	0.25

<i>SI</i> : Pendiente de la cama de frenado (0)	−5.50 %
<i>Le</i> : Longitud efectiva de la cama de frenado	103 m
<i>LT</i> : Longitud total de la cama de frenado	129 m
<i>LTR</i> : Longitud de transición	50 m

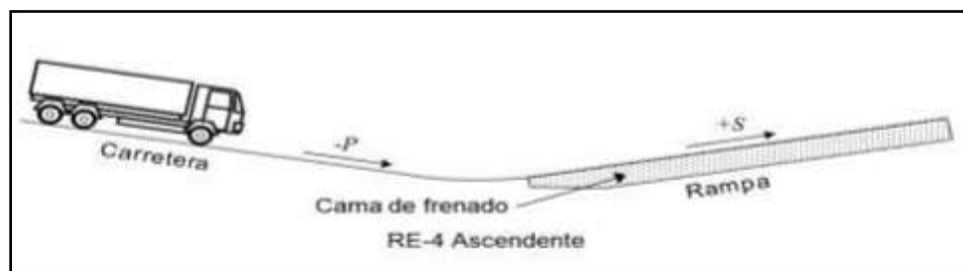
Nota. Tomado de Fuente propia

Memorias de cálculo para determinar la longitud del lecho de frenado para la rampa de emergencia para la alternativa número 2 en el km 10 + 800

De acuerdo a las condiciones topográficas y aplicando la A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011, la rampa que mejor se adapta es una rampa de grado ascendente

Figura 31

Rampa de grado ascendente



Nota. Tomado de https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6151/sct11_C/sct11_C.html

calculo la velocidad de entrada V_e

$$V_e = (V_p^2 - 254 \sum_{i=1}^n L P_i (R_p \pm P_i))^{\frac{1}{2}}$$

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

V_p = Velocidad de operación en kilómetros por hora en el sitio de entrada a rampa.

n = Número de subtramos con pendientes descendentes diferentes que integran el tramo para el que se proyecta la rampa.

Lp_i = Longitud del subtramo i con la pendiente descendente p_i en metros.

R_p = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (0.010 para pavimentos de concreto hidráulico y 0.012 para pavimentos asfálticos)

P_i = Pendiente descendente del subtramo i de longitud L_i , en metro/metro

Datos.

$$V_p = 50 \text{ km/h}$$

$$Lp_i = 620 \text{ m}$$

$$R_p = 0.012$$

$$P_i = 7.5\%$$

Realizando el cálculo se obtiene que:

$$V_e = \sqrt{50^2 - 254 \times 620 (0.012 - 0.075)}$$

$$V_e = 111 \frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ Velocidad entrada de la rampa}$$

$$L_e = \frac{V_e^2}{254(R_m + SI)}$$

Aplicamos la fórmula para conocer la longitud efectiva de la cama de frenado

Donde:

L_e = Longitud efectiva de la cama de frenado en metros.

V_e = Velocidad de entrada a la rampa en kilómetros por hora.

R_m = Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado.

SI = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente.

Si es una rampa de grado horizontal la pendiente es 0.

Datos:

$$Ve = 111$$

$$R_m = 0.25$$

$$SI = 0.05\%$$

$$Le = \frac{101^2}{254(0.25 + 0.05)}$$

$$Le = 161m$$

La longitud total de la cama de frenado, (LT) debe ser veinticinco (25) por ciento mayor que su longitud efectiva Le, en donde aplicando este factor de 1.25 a obtenemos:

$$LT = 201 m$$

Tabla 10.

Datos y resultados obtenidos de alternativa n°2 de la rampa de frenado de emergencia

V_p : Velocidad de operación del sitio de entrada a la rampa	50 km/h
Lp_i : Longitud del subtramo i con la pendiente descendente	620 m
R_p : Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (asfalto)	0.012
P_i : Pendiente descendente del subtramo i de longitud Lp_i	7.5%

V_e : Velocidad de entrada a la rampa	111 km/h
R_m : Resistencia a la rodadura del material con que se formara la cama de frenado. (gravilla)	0.25
SI : Pendiente de la cama de frenado (0)	0.05%
Le : Longitud efectiva de la cama de frenado	161 m
LT : Longitud total de la cama de frenado	201 m
LTR : Longitud de transición	50 m

Nota. Tomado de Fuente propia.

Capítulo 4: modelación del diseño geométrico de la rampa de frenado de emergencia

ubicación tramo de estudio corredor vial Bogotá - Villavicencio

Se realizó el levantamiento topográfico preliminar del tramo en estudio comprendido entre las abscisas K04+200 y K12+260 del corredor vial Bogotá–Villavicencio, utilizando como fuente de información geoespacial el software Google Earth. Posteriormente, los datos obtenidos fueron procesados e importados al software Autodesk Civil 3D, donde se generó el modelo digital del terreno y se desarrollaron las actividades de diseño y modelación de la rampa de emergencia propuesta.

Figura 32

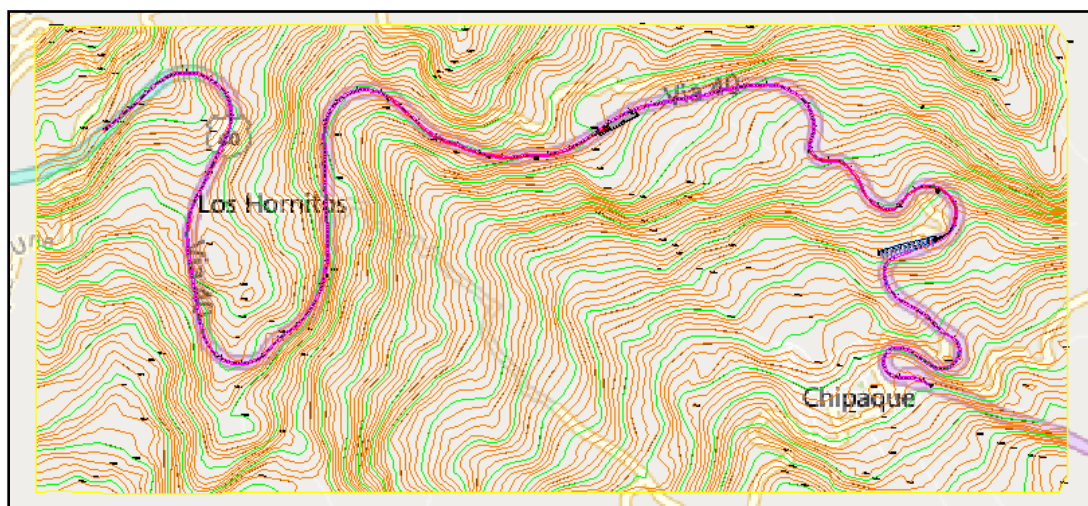
Levantamiento en google Earth



Nota. Tomado de Google earth

Figura 33

Ubicación del tramo de estudio en el software civil 3D.



Nota. Tomado de Google earth

Ubicación de las dos alternativas para la rampa de frenado de emergencia y modelación del diseño geométrico en civil 3d

Posteriormente, se realizó la localización y evaluación de dos alternativas para la implementación de la rampa de frenado de emergencia dentro del tramo comprendido entre el peaje Boquerón (K04+200) y la salida de Chipaque (K12+260). La selección de estas alternativas se fundamentó en el análisis de diversos criterios técnicos, entre los que se destacan los índices de accidentalidad vial registrados en el corredor, las condiciones topográficas del terreno y las características geométricas de la vía, con el propósito de identificar los sectores que ofrecen las mejores condiciones para la operación segura y eficiente de una rampa de emergencia.

Teniendo en cuenta lo anterior se ubicaron las dos alternativas dentro del corredor vial las cuales están ubicadas de la siguiente manera:

Alternativa numero 1 K08+640

Alternativa numero 2 K10+800

Ya definida la ubicación dentro del tramo en estudio en el corredor vial Bogotá- Villavicencio se inicia con la modelación y cálculos correspondientes, donde primeramente se obtiene la longitud total de cada una de las alternativas.

Definición de alineamientos horizontales

Para cada una de las alternativas se realizó la creación de alineamientos horizontales, los cuales permitieron definir el eje de diseño de la rampa de frenado de emergencia. Durante este proceso se establecieron los parámetros geométricos correspondientes, tales como longitudes, radios de curvatura y elementos de transición, garantizando una adecuada conexión con la vía existente y el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos para este tipo de infraestructura.

Los alineamientos constituyeron el elemento principal para el desarrollo posterior de los perfiles longitudinales, secciones transversales y cálculos de movimiento de tierras. Ver anexo 2 y 4

Obtención del perfil longitudinal

Posteriormente se generaron los perfiles longitudinales a partir de la intersección entre los alineamientos definidos y la superficie topográfica existente.

El análisis de los perfiles permitió determinar las características altimétricas de cada alternativa, identificando las pendientes longitudinales presentes en el terreno y estableciendo las condiciones geométricas necesarias para el adecuado funcionamiento de la rampa de frenado.

A partir de estos perfiles fue posible evaluar la adaptación de cada alternativa a la topografía existente, minimizando intervenciones excesivas y optimizando las condiciones de seguridad para los vehículos que hagan uso de la rampa en situaciones de emergencia. Ver anexo 3 y 5

Diseño de la rasante

Con base en la información obtenida de los perfiles longitudinales se definió la rasante de diseño para cada alternativa, procurando mantener una geometría compatible con las condiciones del terreno y con los criterios técnicos requeridos para la desaceleración progresiva de los vehículos. La comparación entre la rasante proyectada y el terreno natural permitió identificar los sectores donde se requerían actividades de excavación (corte) o conformación mediante material de relleno.

Generación del corredor y modelación tridimensional

Una vez definidos los parámetros geométricos de diseño, se procedió a la creación del corredor en Civil 3D mediante la asociación del alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones tipo definidas para la rampa de frenado.

La modelación tridimensional permitió visualizar el comportamiento geométrico de cada alternativa dentro del entorno topográfico existente y verificar la correcta integración de la infraestructura proyectada con la vía actual.

Obtención de secciones transversales

Como parte del proceso de análisis se generaron secciones transversales a intervalos regulares a lo largo de cada una de las alternativas.

Las secciones transversales permitieron evaluar detalladamente la interacción entre el terreno natural y la sección proyectada de la rampa, identificando las áreas de corte y relleno requeridas en cada abscisa. Adicionalmente, estas secciones constituyeron la base para la estimación de cantidades de obra y para la evaluación de la factibilidad constructiva de cada alternativa. Ver anexo 6 y 7

Evaluación de alternativas

Finalmente, con base en los resultados geométricos, topográficos y volumétricos obtenidos mediante la modelación en Civil 3D, se efectuó la comparación técnica de las dos alternativas propuestas en las abscisas K08+640 y K10+800.

La evaluación consideró aspectos como la adaptación al terreno existente, longitud disponible para la rampa, pendientes longitudinales, requerimientos de movimiento de tierras y factibilidad constructiva, permitiendo identificar la alternativa que presenta las mejores condiciones para la implementación de una rampa de frenado de emergencia dentro del corredor vial Bogotá – Villavicencio.

Dentro de la lista de anexos se encontrarán cada uno de los planos correspondientes a lo mencionado anteriormente.

Señalización para las dos alternativas propuestas de la rampa de frenado de emergencia

Con el fin de garantizar condiciones adecuadas de seguridad vial y operación para las dos alternativas de rampa de frenado de emergencia propuestas en las abscisas K08+640 y K10+800, se planteó una propuesta preliminar de señalización basada en los lineamientos establecidos en el Manual de Señalización Vial de Colombia 2024.

La señalización propuesta contempla la instalación de señales preventivas e informativas que permitan advertir oportunamente a los conductores sobre la ubicación de la rampa, facilitando su identificación y utilización en caso de fallas en el sistema de frenos del vehículo. Asimismo, se considera la implementación de señalización horizontal para orientar el ingreso a la rampa y mejorar las condiciones de seguridad durante la maniobra de acceso. Ver anexo 8 y 9

Capítulo 5: estructura de la rampa de frenado de emergencia

Consideraciones generales de diseño

La estructura de la rampa de frenado de emergencia fue diseñada con el propósito de proporcionar una superficie segura y eficiente para la desaceleración y detención de vehículos que presenten fallas en el sistema de frenos durante su descenso por el corredor vial Bogotá – Villavicencio.

El diseño estructural se dividió en dos zonas funcionales: una zona de transición destinada a garantizar el empalme adecuado entre la vía existente y la rampa de frenado, y una zona de cama de frenado diseñada para generar la resistencia necesaria que permita disipar progresivamente la energía cinética de los vehículos fuera de control.

Para la definición de los espesores de las capas estructurales se tomaron como referencia las características de la estructura de pavimento existente en el corredor Bogotá – Villavicencio, buscando mantener condiciones homogéneas de soporte y comportamiento mecánico. Por su parte, el espesor de

la cama de frenado fue definido considerando los criterios y recomendaciones establecidos por la metodología AASHTO para rampas de escape de vehículos pesados.

Estructura de la zona de transición

La zona de transición corresponde al tramo inicial de la rampa, cuya función principal es permitir el ingreso seguro de los vehículos desde la calzada existente hacia la cama de frenado, evitando cambios bruscos en las condiciones de rodadura.

La estructura propuesta para esta zona está conformada por las siguientes capas:

Tabla 11.

Estructura zona de transición de rampa de frenado

Capa	Espesor (m)
Carpeta asfáltica	0,20
Base granular	0,20
Subbase granular	0,30

Nota. Toma de fuente propia.

La carpeta asfáltica proporciona una superficie uniforme de circulación y garantiza una adecuada transferencia de cargas hacia las capas inferiores. La base granular actúa como elemento estructural distribuyendo las cargas vehiculares y mejorando la capacidad portante del sistema. Por su parte, la subbase granular cumple funciones de soporte, drenaje y control de deformaciones provenientes de la subrasante.

Los espesores adoptados para estas capas fueron definidos tomando como referencia la estructura existente del corredor vial Bogotá – Villavicencio, con el fin de asegurar compatibilidad estructural entre la vía principal y la zona de transición de la rampa.

Estructura de la cama de frenado

La cama de frenado constituye el elemento principal de la rampa de emergencia, ya que es la encargada de generar la resistencia al avance del vehículo mediante la interacción entre las llantas y el material granular suelto.

La estructura diseñada para esta zona está conformada por:

Tabla 12.

Estructura cama de frenado

Capa	Espesor (m)
Cama de frenado en gravilla	1,00
Base granular	0,20
Subbase granular	0,30
Relleno recebo común	variable

Nota. Toma de fuente propia.

La capa superior está conformada por gravilla suelta con un espesor de 1,00 m, cuya función es incrementar la resistencia al rodamiento y absorber progresivamente la energía cinética del vehículo hasta lograr su detención total.

Debajo de la cama de frenado se dispone una capa de base granular de 0,20 m y una subbase granular de 0,30 m, las cuales proporcionan estabilidad estructural al sistema y garantizan una adecuada distribución de esfuerzos hacia el terreno de fundación.

El espesor de la cama de frenado fue definido considerando las recomendaciones establecidas por AASHTO para rampas de escape, donde se indica la utilización de materiales granulares de alta resistencia y espesores suficientes para generar una desaceleración segura de los vehículos pesados.

Material de relleno

Debido a la geometría del terreno y a las condiciones topográficas presentes en el sector de implantación de la rampa, se identificaron zonas que requieren conformación mediante rellenos para alcanzar las cotas de diseño.

Para estos sectores se recomienda la utilización de recebo común debidamente compactado, material que ofrece condiciones adecuadas de soporte para la conformación de terraplenes y permite optimizar los costos de construcción sin comprometer la estabilidad de la estructura proyectada.

La compactación de estos rellenos deberá cumplir los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas vigentes, garantizando la capacidad portante necesaria para soportar las capas estructurales superiores.

Funcionamiento estructural de la rampa

La estructura propuesta permite que el vehículo ingrese inicialmente sobre una superficie pavimentada con características similares a la vía existente, facilitando una transición gradual hacia la zona de desaceleración.

Posteriormente, al ingresar a la cama de frenado, las llantas penetran en la capa de gravilla, aumentando significativamente la resistencia al movimiento y generando una reducción progresiva de la velocidad hasta alcanzar la detención completa del vehículo.

La combinación de una cama de frenado granular de 1,00 m de espesor, apoyada sobre capas de base y subbase granular, proporciona estabilidad estructural, capacidad de drenaje y una adecuada distribución de cargas, garantizando el correcto funcionamiento de la rampa durante eventos de emergencia.

Esta configuración estructural busca garantizar condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y funcionalidad para la operación de la rampa de frenado de emergencia dentro del corredor vial Bogotá – Villavicencio.

Estructura de contención para rampa de frenado

Debido a las características topográficas del corredor vial Bogotá – Villavicencio y a los movimientos de tierra requeridos para la construcción de las alternativas propuestas de rampa de frenado de emergencia, se plantea la construcción de muros de contención con el fin de garantizar la estabilidad de los terraplenes proyectados y proporcionar el confinamiento lateral del material que conforma la estructura de la rampa.

La implementación de estos elementos busca evitar procesos de inestabilidad asociados a deslizamientos, erosión, deformaciones laterales o pérdida de material granular, garantizando la integridad estructural y funcional de la obra durante su vida útil.

Como resultado de la modelación geométrica realizada en Civil 3D y del análisis de las secciones transversales de diseño, se identificó la necesidad de disponer estructuras de contención a ambos costados de la rampa de frenado.

La longitud y altura indicadas corresponden a los requerimientos geométricos identificados durante el proceso de modelación y podrán ajustarse en fases posteriores de diseño, dependiendo de los resultados de los estudios técnicos requeridos.

Estudios requeridos para el diseño definitivo

La propuesta presentada corresponde a un planteamiento preliminar de ingeniería basado en los resultados geométricos obtenidos durante la fase de factibilidad del proyecto.

Sin embargo, para desarrollar el diseño definitivo del muro de contención será indispensable realizar estudios geotécnicos y de estabilidad específicos para cada una de las alternativas evaluadas.

Estos estudios deberán incluir, como mínimo:

- Caracterización geotécnica del subsuelo.
- Determinación de parámetros de resistencia de los materiales.
- Evaluación de capacidad portante.
- Análisis de estabilidad de taludes.
- Determinación de niveles freáticos y condiciones de drenaje.
- Evaluación de empujes de tierra estáticos y, de ser necesario, sísmicos.
- Verificación de estabilidad al deslizamiento, volcamiento y capacidad portante.

Los resultados obtenidos permitirán definir el tipo de estructura más adecuada, las dimensiones definitivas, el sistema de cimentación requerido y los elementos complementarios de drenaje y estabilización.

Análisis y discusión de resultados

El corredor vial Bogotá–Villavicencio presenta condiciones geométricas y topográficas particulares que incrementan el riesgo de siniestralidad vial, especialmente en los tramos con pendientes longitudinales pronunciadas y recorridos continuos en descenso. Estas características generan una alta exigencia sobre los sistemas de frenado de los vehículos, en especial los de carga pesada, los cuales deben realizar aplicaciones constantes de los frenos durante largos trayectos, aumentando la probabilidad de sobrecalentamiento, pérdida de eficiencia y fallas mecánicas que pueden derivar en accidentes de gran magnitud.

A partir del análisis de las alternativas planteadas para la ubicación de rampas de frenado de emergencia, se evidenció que la implementación de este tipo de infraestructura constituye una medida efectiva para mitigar las consecuencias asociadas a la pérdida de control de vehículos por fallas en el sistema de frenado. Estas estructuras proporcionan una zona segura para la desaceleración y detención de vehículos fuera de control, reduciendo significativamente la probabilidad de colisiones múltiples, volcamiento de vehículos y eventos con consecuencias fatales.

Asimismo, la evaluación técnica realizada permitió identificar sectores del corredor que reúnen condiciones favorables para la construcción de rampas de emergencia, considerando aspectos como la geometría de la vía, la disponibilidad de espacio, la topografía del terreno y los registros históricos de accidentalidad. Sin embargo, debido a la complejidad geotécnica del corredor y a la presencia de laderas de alta pendiente, la construcción de estas estructuras requiere la implementación de obras complementarias de gran importancia, tales como muros de contención, sistemas de drenaje, estabilización de taludes y estructuras de confinamiento del terraplén, las cuales garantizan la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura a largo plazo.

Aunque la inversión inicial para la construcción de una rampa de frenado de emergencia puede ser considerable debido a las condiciones topográficas y geotécnicas presentes en la zona de estudio, los

beneficios asociados a la preservación de vidas humanas, la reducción de lesiones graves, la disminución de daños materiales y la reducción de los costos sociales derivados de los accidentes de tránsito justifican ampliamente su implementación.

Adicionalmente, se identificó que en Colombia existe un número reducido de rampas de frenado de emergencia en comparación con otros países que cuentan con corredores montañosos de características similares. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de seguridad vial mediante la incorporación de soluciones de infraestructura que permitan atender de manera efectiva las emergencias derivadas de fallas mecánicas en los vehículos pesados.

Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió establecer que la implementación de rampas de frenado de emergencia en el corredor Bogotá–Villavicencio constituye una alternativa técnicamente viable y necesaria para fortalecer las condiciones de seguridad vial en un corredor caracterizado por su compleja topografía, pendientes prolongadas y elevado tránsito de vehículos pesados. Estas infraestructuras ofrecen una solución eficaz para mitigar los riesgos asociados a fallas en los sistemas de frenado, contribuyendo a la reducción de la gravedad de los siniestros viales y a la protección de la vida de los usuarios de la vía. Aunque su construcción requiere obras complementarias relacionadas con la estabilidad geotécnica, el drenaje y la contención de taludes, dichos aspectos representan desafíos de diseño y no impedimentos para su ejecución. Asimismo, la limitada presencia de este tipo de infraestructura en Colombia evidencia la necesidad de promover su incorporación en corredores estratégicos con altos niveles de accidentalidad. En consecuencia, la adopción progresiva de rampas de frenado de emergencia se perfila como una medida que aporta significativamente al cumplimiento de los objetivos de seguridad vial, al fortalecimiento de la operación segura de las carreteras y a la consolidación de un sistema de transporte más seguro y eficiente.

Lista de Referencia

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2022). *Metodología para el diseño, selección e instalación de sistemas de contención vehicular* (1.ª ed.).

https://ansv.gov.co/sites/default/files/2024/Prensa_Publicaciones/Sistemas_de_Contencion_Vehicular.pdf.

Agencia Nacional de Seguridad Vial & Ministerio de Transporte. (2021). *Metodología para el desarrollo de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia*. Ministerio de Transporte.

<https://www.mintransporte.gov.co>

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A policy on geometric design of highways and streets* (6th ed.). AASHTO.

Artieda, A. (2024). *Diseño de una rampa de frenado para la avenida Simón Bolívar, tramo intercambiador Morán Valverde–Puengasí, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana].

Cadengo, M., Cuevas, A., & Silva, M. (2022). *Recomendaciones de seguridad vial para rampas de emergencia para frenado en carreteras*.

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt708.pdf>

Cárcamo, F. (2014). *Diseño de rampas de emergencia en autopistas de México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Puebla].

Castro, C. (2024). *Estudio de caso. Evaluación de la rampa de emergencia para frenado ubicada en el km 39+800 de la carretera federal de México, Toluca, ruta Mex 0.15*.

<https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/0d2056b4-b248-4d7b-ab80d399ade5708b/content>

Congreso de Colombia. (2002, 6 de agosto). *Ley 769 de 2002: Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 44.932.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5558>

Congreso de Colombia. (2011, 29 de diciembre). Ley 1503 de 2011: Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y se dictan otras disposiciones.

Diario Oficial No. 48.298. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=45453>

Congreso de Colombia. (2011, 16 de junio). Ley 1450 de 2011: Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010–2014, Prosperidad para Todos. Diario Oficial No. 48.102.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43101>

Cotton de León, P. C. (2016). Consideraciones para el diseño de rampas de frenado de emergencia en carreteras [Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/3328/1/Pablo%20Cesar%20Cotton%20de%20Le%C3%B3n.pdf>

Fonseca, D., Munevar, M., Ortiz, B., & Suesca, D. (2022, 10 de diciembre). Viabilidad técnica y financiera de la aplicación de rampas de frenado en la concesión BTS [Trabajo académico de la asignatura Metodología de la Investigación y Diseño Experimental]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Geoportal Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2022). Fatalidades en vías nacionales.

<https://geoportal-ansv-ansv.hub.arcgis.com/apps/feb6a00fe5e44aa59138442a1f1764f6/explore>

Gobierno de México. (2022, mayo). Rampas de emergencia para frenado.

<https://www.gob.mx/capufe/es/articulos/rampas-de-emergencia-para>

González, L. T. & Pineda, H. D. (2024). Parámetros y metodología para el diseño de rampas de escape en Colombia.

<http://hdl.handle.net/11349/39481>

Gutiérrez, J., & Cubillos, S. (2020). *Estudiar y evaluar la operatividad de los vehículos en función de la velocidad de diseño por faltas de rampas de frenado en la concesión Briceño-Tunja-Sogamoso, bajo indicadores de accidentalidad e impacto social [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]*.

Instituto Mexicano del Transporte. (s.f.). *Experiencia mexicana en el diseño y operación de rampas de frenado en carreteras*. http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/intervenciones_infraestructura/emilio_mayoral.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. INVIAS.

INVÍAS. (s.f.). *Accidentalidad a nivel nacional*.

<https://invias.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=f4aeaa7aa3f647a18cd8fe6265e5d5>

Ministerio de Transporte de Colombia, & Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2024). *Manual de señalización vial de Colombia: Dispositivos uniformes en la infraestructura vial para la regulación del tránsito y la seguridad vial*. Ministerio de Transporte.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). *Manual de seguridad vial*. Gobierno del Perú.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf

Ospina, N. (2014). *Estudio de seguridad vial para determinar la incidencia del diseño geométrico en la accidentalidad carretera Bogotá-Villavicencio a partir de la salida del túnel de Boquerón a puente Quetame*. <https://apiescuelaing.bibliolabtech.com/server/api/core/bitstreams/ab6216a2-7f37-49f9-b070-8580a01e3742/content>

Ramírez, J. (2015). *Diseño de rampas de emergencia para frenado en carreteras [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México]*.

Regalado, E., & Salazar, R. (2021). Propuesta de diseño de una zona de frenado de emergencia en el cantón Girón [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21430/1/UPS-CT009418.pdf>

Tacuri, J. (2023). Propuesta de diseño de rampa de emergencia de frenado en la vía Pifo-Papallacta [Trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

Valencia, M. (2021). Diseño de rampa de frenado según norma AASHTO 2011 para la reducción de velocidad en la carretera central margen derecha [Trabajo de grado, Universidad Peruana de los Andes].

Lista de Anexos

ANEXO 1. Planta perfil tramo en estudio Vía Bogotá – Villavicencio

ANEXO 2. Planta geométrica alternativa numero 1

ANEXO 3. Perfil longitudinal alternativa numero 1

ANEXO 4. Planta geométrica alternativa numero 2

ANEXO 5. Perfil longitudinal alternativa numero 2

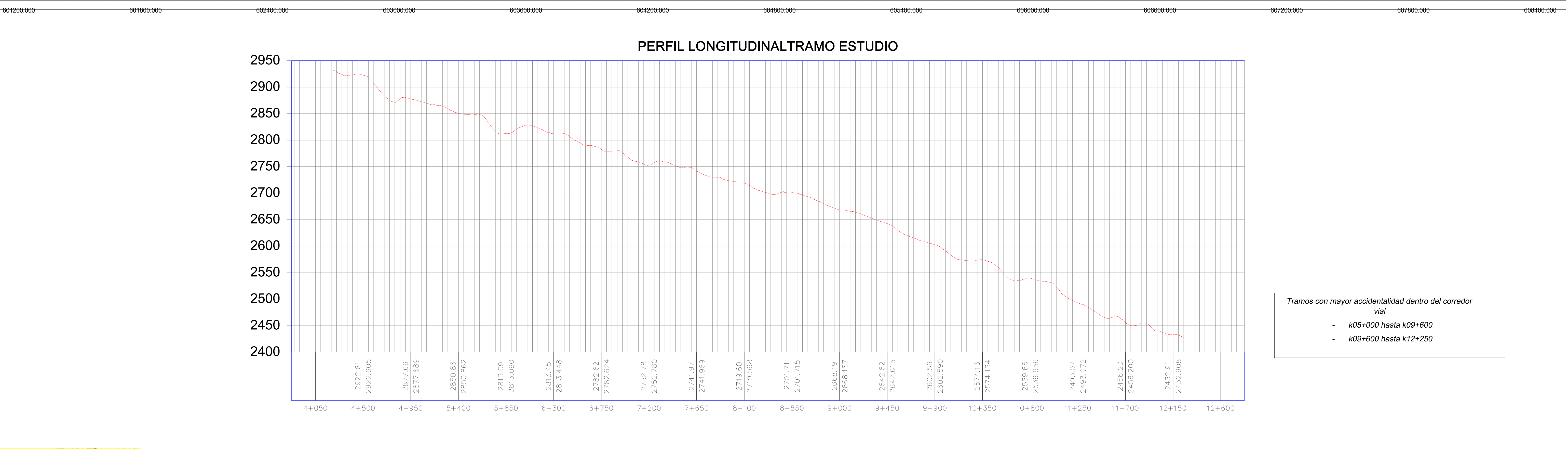
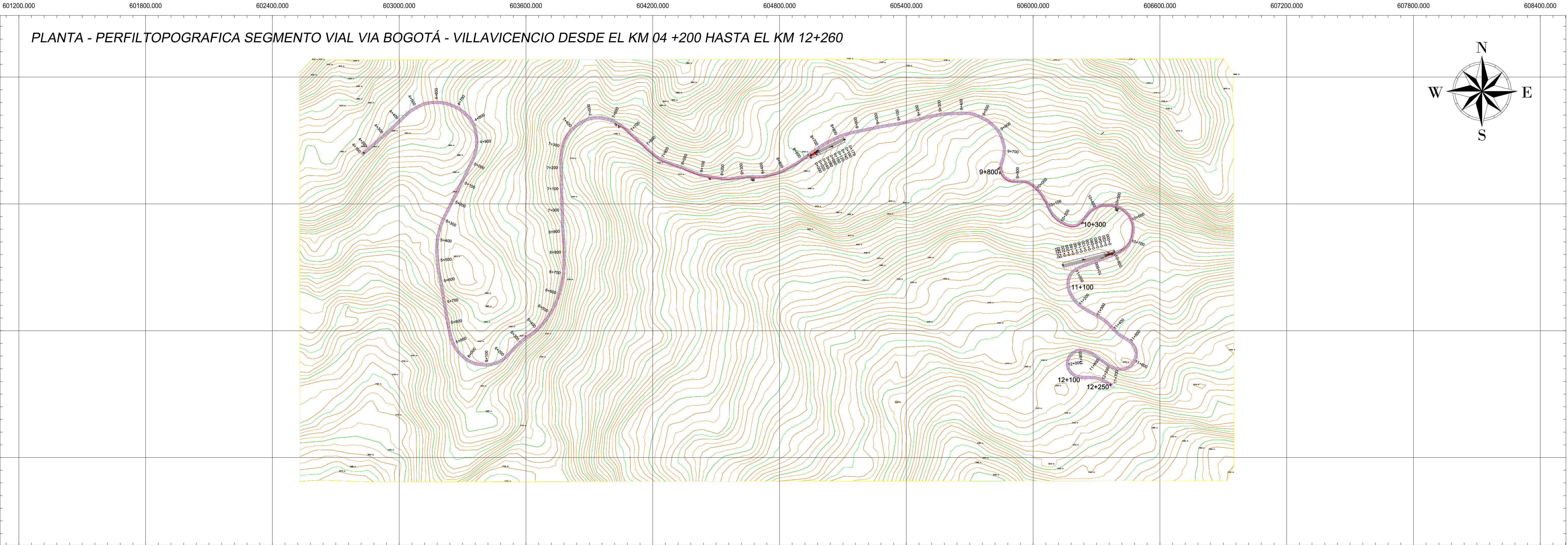
ANEXO 6. Secciones transversales alternativa numero 1

ANEXO 7. Secciones transversales alternativa numero 2

ANEXO 8. Ubicación y tipo de señalización rampa de frenado alternativa numero 1

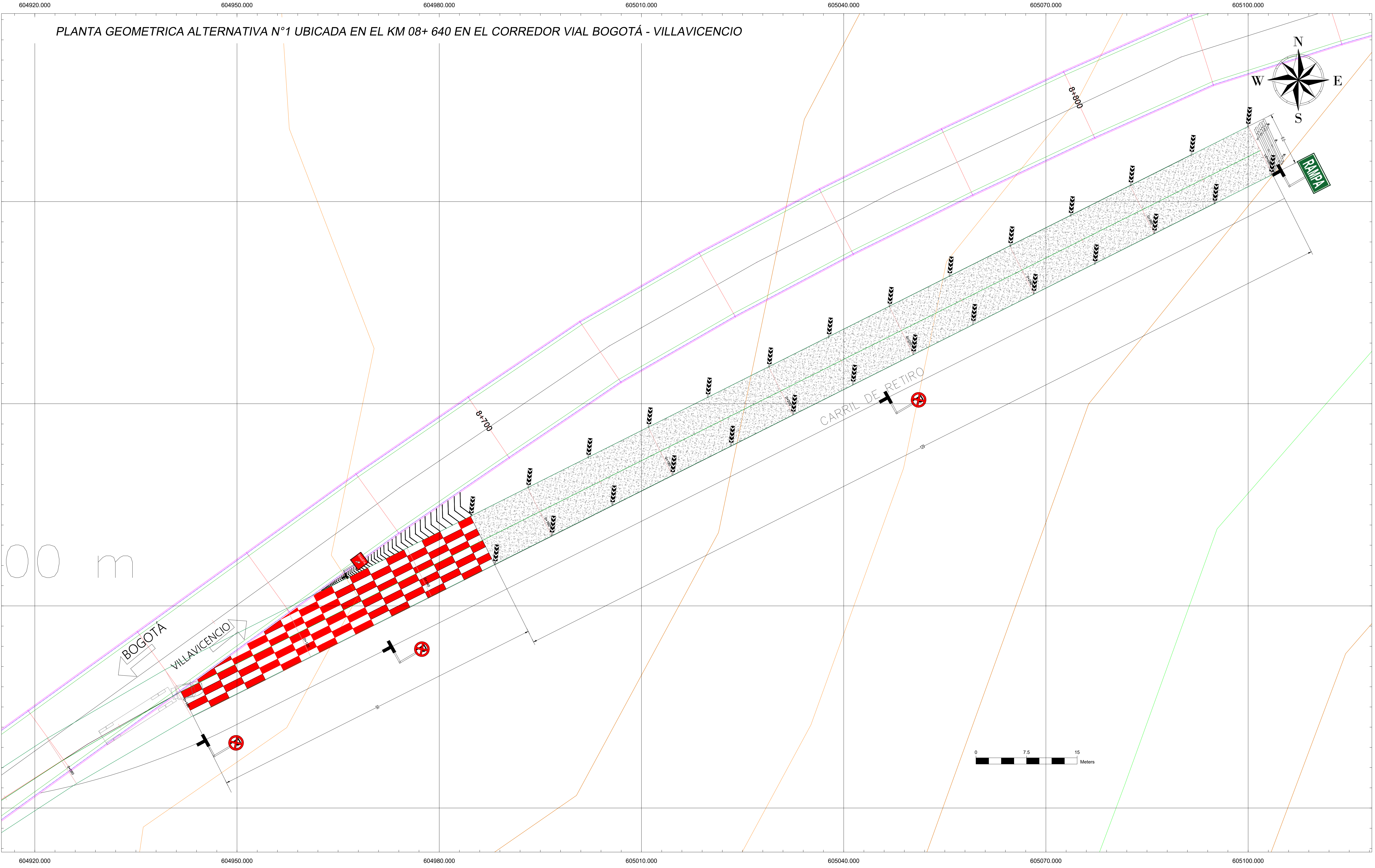
ANEXO 9. Ubicación y tipo de señalización rampa de frenado alternativa numero 2

**ANEXO 1. PLANTA
PERFIL TRAMO EN
ESTUDIO VÍA
BOGOTÁ –
VILLAVICENCIO**



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES	AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 1 DE 9	
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE	0+000 ABSCISADO EJE DE VIA 2870 m CURVA DE NIVEL INTERMEDIA 2850 m CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CORREDOR VIAL CUNETA PERFIL LONGITUDINAL VIA	RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	PLANTA - PERFIL TOPOGRAFICA	INDICADA	FECHA: ABRIL DE 2026	REALIZÓ: DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P. 091037-0688580 CND

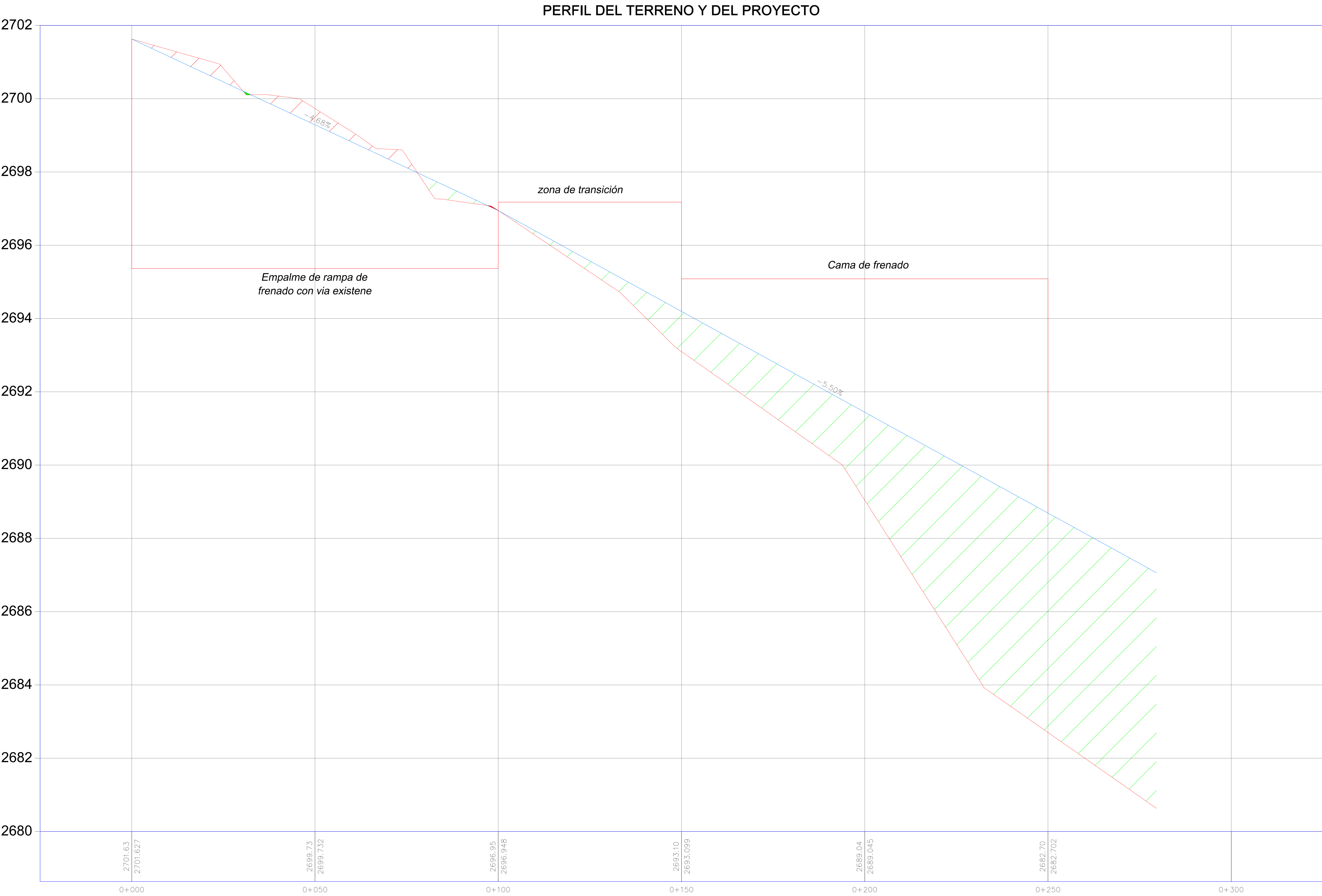
**ANEXO 2. PLANTA
GEOMÉTRICA
ALTERNATIVA
NUMERO 1**



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES			AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 2 DE 9	
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE	0+000 ABSCISADO RAMPA DE FRENADO EJE DE VIA 2870 m CURVA DE NIVEL INTERMEDIA 32850 m CURVA DE NIVEL PRINCIPAL CORREDOR VIAL CUNETA ZONA DE TRANSICION CAMA DE FRENADO LINEA ROJA DE DEMARCACIÓN HACIA RAMPA DE FRENADO	RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	PLANTA GEOMETRICA ALTERNATIVA 1	1:250	FECHA: ABRIL DE 2026	REALIZÓ: DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P 091037-0688580 CND		

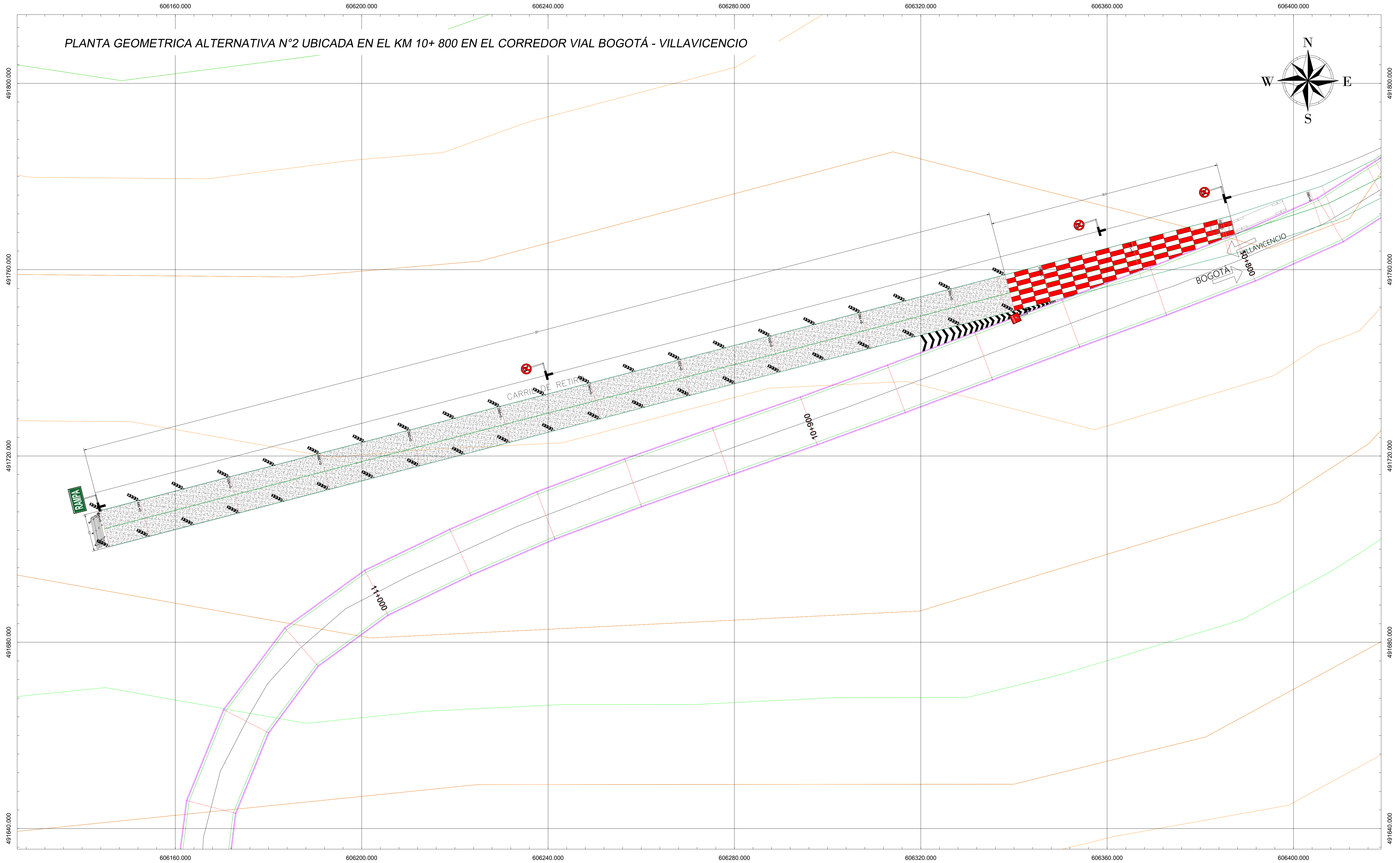
ANEXO 3. PERFIL LONGITUDINAL ALTERNATIVA NUMERO 1

PERFIL LONGITUDINAL ALTERNATIVA N°1 UBICADA EN EL KM 08+ 640 EN EL CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES	AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 3 DE 9	
						FECHA:	REALIZÓ:
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE	— PERFIL DEL PROYECTO — PERFIL DEL TERRENO	RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	PLANTA TOPOGRAFICA	1:545	ABRIL DE 2026	DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P 091037-0688580 CND

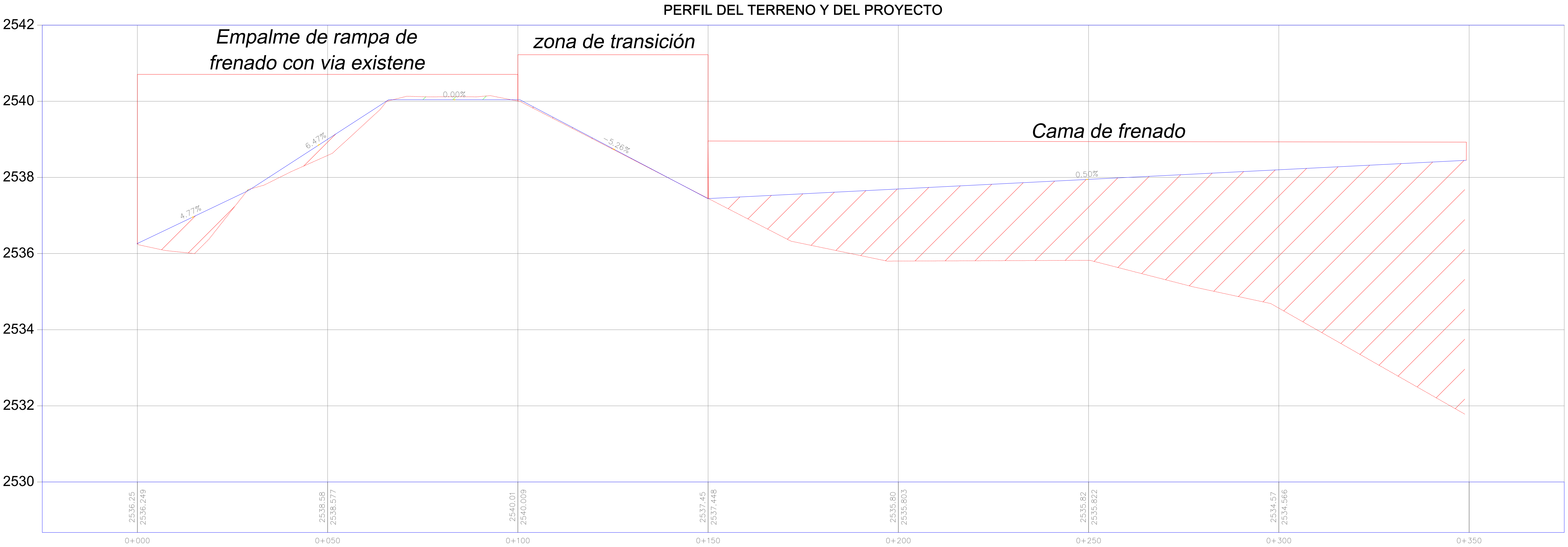
**ANEXO 4. PLANTA
GEOMÉTRICA
ALTERNATIVA
NUMERO 2**



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES			AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 4 DE 9	
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE	0+000 ABSCISADO RAMPA DE FRENADO EJE DE VIA 2670 m CURVA DE NIVEL INTERMEDIA 2850 m CURVA DE NIVEL PRINCIPAL	CORREDOR VIAL CUNETTA ZONA DE TRANSICION	CAMA DE FRENADO LINEA ROJA DE DEMARCACIÓN HACIA RAMPA DE FRENADO	RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	PLANTA GEOMETRICA ALTERNATIVA 1	1:360	FECHA: ABRIL DE 2026	REALIZÓ: DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P 091037-0688580 CND

ANEXO 5. PERFIL LONGITUDINAL ALTERNATIVA NUMERO 2

PERFIL LONGITUDINAL ALTERNATIVA N°2 UBICADA EN EL KM 10+ 800 EN EL CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES	AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 5 DE 9	
						FECHA:	REALIZÓ:
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE	— PERFIL DEL PROYECTO — PERFIL DEL TERRENO	RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	PERFIL LONGITUDINAL ALTERNATIVA NUMERO 2	1:590	ABRIL DE 2026	DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P 091037-0688580 CND

**ANEXO 6.
SECCIONES
TRANSVERSALES
ALTERNATIVA
NUMERO 1**

SECCIONES TRANSVERSALES ALTERNATIVA N°1 UBICADA EN EL KM 08+ 640 EN EL CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO

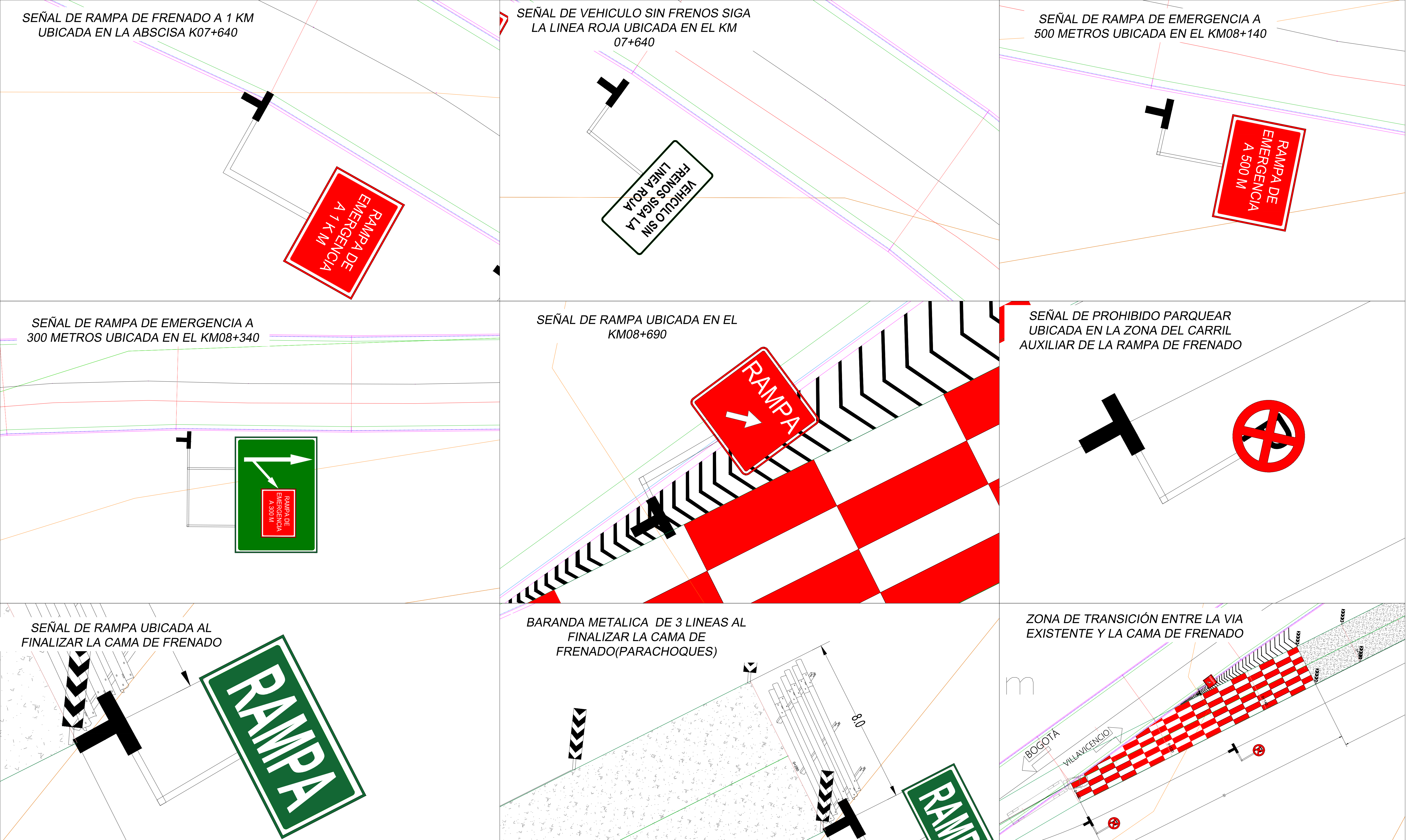


**ANEXO 7.
SECCIONES
TRANSVERSALES
ALTERNATIVA
NUMERO 2**

0+000.00 0+060.00 0+120.00 0+180.00 0+240.00 0+300.00 0+010.00 0+070.00 0+130.00 0+190.00 0+250.00 0+310.00 0+020.00 0+080.00 0+140.00 0+200.00 0+260.00 0+320.00 0+030.00 0+090.00 0+150.00 0+210.00 0+270.00 0+330.00 0+040.00 0+100.00 0+160.00 0+220.00 0+280.00 0+340.00 0+050.00 0+110.00 0+170.00 0+230.00 0+290.00 0+348.86 0+060.00 0+120.00 0+180.00 0+240.00 0+300.00 0+070.00 0+130.00 0+190.00 0+250.00 0+310.00 0+080.00 0+140.00 0+200.00 0+260.00 0+320.00 0+090.00 0+150.00 0+210.00 0+270.00 0+330.00	
--	--

ANEXO 8.
UBICACIÓN Y TIPO
DE SEÑALIZACIÓN
RAMPA DE
FRENADO
ALTERNATIVA
NUMERO 1

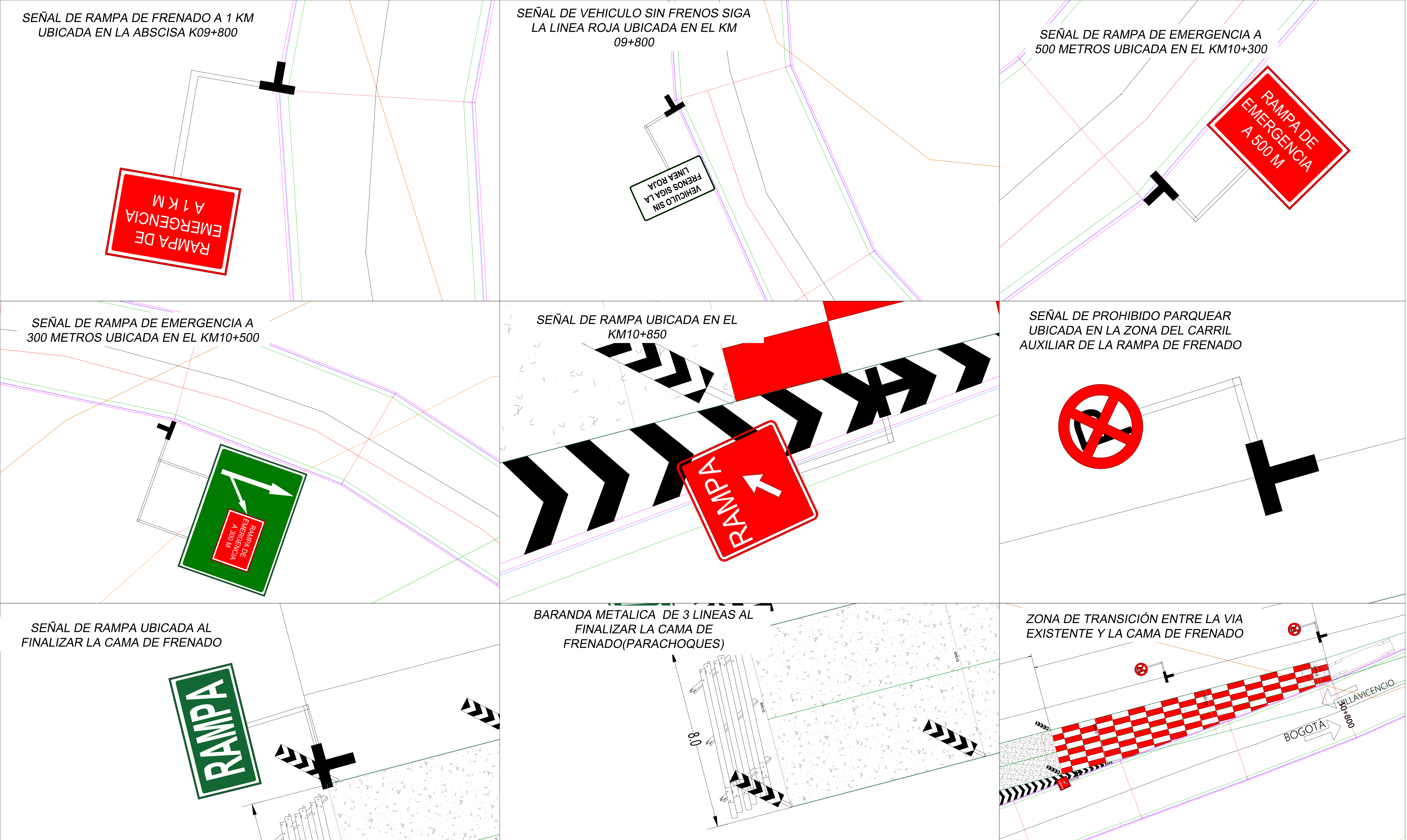
SEÑALIZACIÓN PARA RAMPA DE FRENADO ALTERNATIVA N°1 UBICADA EN EL KM 08+ 640 EN EL CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES	AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 8 DE 9	
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE		RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	SEÑALIZACIÓN RAMPA DE FRENADO ALTERNATIVA N°1	INDICADAS	FECHA: ABRIL DE 2026	REALIZÓ: DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P 091037-0688580 CND

ANEXO 9.
UBICACIÓN Y TIPO
DE SEÑALIZACIÓN
RAMPA DE
FRENADO
ALTERNATIVA
NUMERO 2

SEÑALIZACIÓN PARA RAMPA DE FRENADO ALTERNATIVA N°2 UBICADA EN EL KM 10+ 800 EN EL CORREDOR VIAL BOGOTÁ - VILLAVICENCIO



LOCALIZACIÓN	PROYECTO	CONVENCIONES	AUTOPISTA	TÍTULO	ESCALA	PLANO 9 DE 9	
	DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA. ESTUDIO DE CASO VIA BOGOTA VILLAVICENCIO EN EL TRAMO BOQUERON HASTA EL TRAMO SALIDA DE CHIPAQUE		RUTA 40 VIA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO DESDE EL KM 04 +200 HASTA EL KM 12+260	SEÑALIZACIÓN RAMPA DE FRENADO ALTERNATIVA N°2	INDICADAS	FECHA: ABRIL DE 2026	REALIZÓ: DIEGO ANDRES MIRANDA OSORIO M.P. 091037-0688580 CND