



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE UNA RAMPA DE FRENADO PARA LA AVENIDA SIMÓN  
BOLÍVAR, TRAMO INTERCAMBIADOR MORÁN VALVERDE – PUENGASÍ,  
CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: Anthony Boris Artieda Azuero

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito - Ecuador  
2024


## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Anthony Boris Artieda Azuero con documento de identificación N° 1726241100; manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 27 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Anthony Boris Artieda Azuero

1726241100

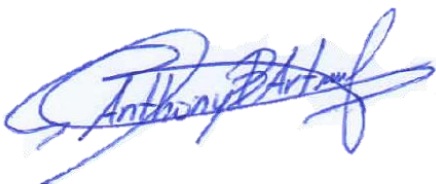
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Anthony Boris Artieda Azuero con documento de identificación N° 1726241100; expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño de una rampa de frenado para la Avenida Simón Bolívar, tramo intercambiador Morán Valverde – Puengasí, cantón Quito, provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Anthony Boris Artieda Azuero

1726241100

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Hugo Patricio Carrión Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA RAMPA DE FRENADO PARA LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR, TRAMO INTERCAMBIADOR MORÁN VALVERDE – PUENGASÍ, CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Anthony Boris Artieda Azuero con documento de identificación N° 1726241100, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Hugo Patricio Carrión Latorre, MSc.

0603015728

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico principalmente a la memoria de mi querido padre Guillermo Artieda (†), ya que mi anhelo era compartir este triunfo contigo. A pesar de tu ausencia física, siento tu presencia en cada meta cumplida, en cada desafío superado. Agradezco profundamente el amor, apoyo y valores que me brindaste en vida. Siempre estarás en mi pensamiento y en mi corazón.

A mi madre Marisol Azuero, una mujer maravillosa que ha sido la mayor fuente de inspiración a lo largo de este viaje académico, tu amor incondicional y palabras de aliento han sido la chispa que me impulso a seguir adelante pese a todos los inconvenientes. Gracias por ser mi ejemplo de fortaleza, perseverancia y sacrificio.

A mis hermanos Cynthia y Michael, por brindarme siempre su respaldo y motivarme a seguir adelante. Este proyecto es reflejo de nuestra unión y la importancia de compartir cada logro juntos.

Anthony Boris Artieda Azuero

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme el espacio y los recursos necesarios para poder culminar con entera satisfacción mi formación profesional, del mismo modo agradecer a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Civil vinculados a mi proceso educativo, los cuales siempre se preocuparon por formar excelentes profesionales plasmando todo su conocimiento y experiencia en las aulas.

A mi excepcional tutor, ingeniero Hugo Carrión quien ha sido una guía en este desafiante pero enriquecedor proyecto de titulación. Mi más sincero agradecimiento por compartir sus conocimientos y su predisposición para culminar con entera satisfacción el presente proyecto.

A mis amigos de la carrera, con quienes he compartido gratos momentos y experiencias dentro y fuera de las aulas, gracias por sus palabras de ánimo, por las risas compartidas y por el apoyo incondicional, todo esto han hecho que mi etapa universitaria sea especial.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema de estudio .....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Importancia y alcance.....	2
1.1.3. Delimitación .....	3
1.2. Justificación .....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Estado actual de la vía .....	6
2.1.1. Condiciones Climáticas .....	9
2.1.2. Estabilidad de Taludes y Derrumbes .....	10
2.1.3. Planificación del mantenimiento que se realiza en la vía por parte de la EPMMOP. ....	14
2.2. Socialización del uso de la zona de frenado de emergencia.....	15
2.3. Rampas de frenado .....	16
2.4. Tipos de Rampas de Frenado.....	16
2.4.1. Rampa de frenado ascendente .....	17
2.4.2. Rampa de frenado horizontal.....	18
2.4.3. Rampa de frenado descendente .....	18
2.4.4. Rampa de frenado con montículo de arena .....	19

2.5.	Elementos principales de las rampas de frenado en avenidas .....	19
2.6.	Criterios de diseño .....	20
2.6.1.	Criterio de necesidad .....	21
2.6.2.	Criterio de Ubicación.....	23
2.6.3.	Velocidad de entrada a una rampa de frenado.....	23
2.7.	Diseño Geométrico de la rampa de frenado .....	24
2.7.1.	Ancho .....	24
2.7.2.	Acceso .....	24
2.7.3.	Longitud .....	25
2.7.4.	Profundidad del lecho de frenado.....	26
2.7.5.	Materiales .....	27
2.7.6.	Drenaje y Subdrenaje.....	28
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>31</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>		<b>31</b>
3.1.	Tipo de Investigación .....	31
3.2.	Método.....	31
3.3.	Técnica para recoger información .....	31
3.3.1.	Observación.....	31
3.3.2.	Análisis de documentos .....	32
3.4.	Proceso Técnico de Ingeniería Civil.....	32
3.4.1.	Recopilación estadística y bibliografía.....	32
3.4.2.	Visita de campo .....	33
3.4.3.	Estudio de tráfico.....	33
3.4.3.1.	Conteo Vehicular.....	33
3.4.4.	Determinar la Ubicación de la rampa de frenado .....	33



3.4.5.	Levantamiento Topográfico .....	33
3.4.6.	Diseño Geométrico de la Rampa de Frenado .....	33
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>34</b>
<b>ESTUDIO DE TRÁFICO .....</b>		<b>34</b>
4.1.	Antecedentes.....	34
4.2.	Estaciones de conteo.....	34
4.3.	Conteo Vehicular .....	36
4.4.	Clasificación por tipo de vehículos .....	37
4.5.	Determinación del tráfico promedio diario anual (TPDA).....	40
4.5.1.	Factor Horario .....	41
4.5.2.	Factor Diario.....	41
4.5.3.	Factor Semanal .....	42
4.5.4.	Factor Mensual .....	43
4.5.5.	Tráfico promedio diario semanal.....	43
4.5.6.	Proyección del TPDA.....	44
4.5.7.	Tasa de crecimiento vehicular .....	45
4.6.	Tráfico Proyectado Incrementado .....	46
4.6.1.	Tráfico Generado.....	46
4.6.2.	Tráfico Desviado .....	47
4.6.3.	Tráfico Desarrollado.....	47
4.7.	Asignación de Tráfico .....	47
4.8.	Clasificación de la vía en función del TPDA final.....	48
4.9.	Tipo de Terreno .....	49
4.10.	Velocidad.....	49
4.10.1.	Velocidad del Proyecto.....	50

4.10.2.	Velocidad de Circulación .....	50
4.10.3.	Determinación de la Velocidad de circulación.....	51
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>53</b>
<b>NECESIDAD Y UBICACIÓN .....</b>		<b>53</b>
5.1.	Antecedentes.....	53
5.2.	Sistema de calificación de peligrosidad de la pendiente (GSRS).....	53
5.3.	Procedimiento.....	56
5.3.1.	Análisis de la necesidad.....	56
5.3.2.	Análisis del punto límite del sistema de frenos .....	57
5.3.3.	Estimación del punto en donde el conductor pueda decidir hacer uso de la rampa de frenado.....	58
5.3.4.	Estimación del punto en donde se alcanza la velocidad de operación de 80 mi/h 60	
5.3.5.	Localización de la rampa de escape .....	61
5.4.	Aplicación del procedimiento en el proyecto .....	61
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>75</b>
<b>DISEÑO GEOMÉTRICO .....</b>		<b>75</b>
6.1.	Introducción.....	75
6.2.	Selección del tipo de rampa.....	75
6.3.	Velocidad de entrada a la rampa de frenado.....	76
6.4.	Ángulo de entrada.....	77
6.5.	Zona de acceso a la rampa .....	77
6.6.	Longitud efectiva de la cama de frenado.....	78
6.7.	Longitud total de la cama de frenado .....	79
6.8.	Ancho de la cama de frenado .....	79

6.9.	Profundidad de la cama de frenado .....	79
6.10.	Material que conformara el lecho de frenado .....	80
6.11.	Camino de servicio .....	80
6.12.	Drenaje y subdrenaje .....	80
<b>CAPÍTULO VII .....</b>		<b>82</b>
<b>ESTUDIO TOPOGRÁFICO .....</b>		<b>82</b>
7.1.	Antecedentes.....	82
7.2.	Levantamiento Topográfico .....	82
7.3.	Ubicación del levantamiento topográfico.....	83
7.4.	Tipo de Terreno .....	83
7.5.	Sistema de coordenadas .....	84
<b>CAPÍTULO VIII .....</b>		<b>85</b>
<b>SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL.....</b>		<b>85</b>
8.1.	Introducción.....	85
8.2.	Señalamiento horizontal .....	85
8.2.1.	Raya de emergencia discontinua (M-14.1).....	86
8.2.2.	Raya de emergencia continua (M-14.2) .....	87
8.2.3.	Marca para indicar el acceso a una rampa de frenado (M-14.3) .....	89
8.2.4.	Leyenda para indicar la distancia a la rampa (M-14.4) .....	89
8.2.5.	Botones Reflejantes .....	91
8.3.	Señalamiento vertical .....	92
8.3.1.	Señales restrictivas .....	93
8.3.2.	Señales preventivas.....	93
8.3.3.	Señales informativas de destino .....	94
8.3.4.	Señales informativas de recomendación .....	97

8.3.5. Señal de información general .....	98
8.3.6. Señales adicionales y dispositivos diversos .....	99
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resistencia a la rodadura de los materiales ( $R_m$ ) .....	26
<b>Tabla 2</b> Requisitos de los materiales .....	28
<b>Tabla 3</b> Ubicación de las estaciones para realizar el conteo manual.....	34
<b>Tabla 4</b> Resumen del conteo manual de la estación No.1 .....	39
<b>Tabla 5</b> Resumen del conteo manual de la estación No.2 .....	39
<b>Tabla 6</b> Tráfico total .....	40
<b>Tabla 7</b> Valores del factor de ajuste diario .....	42
<b>Tabla 8</b> Valores del factor de ajuste diario .....	42
<b>Tabla 9</b> Valores del factor de ajuste mensual.....	43
<b>Tabla 10</b> Valores de TPDA del año 2023 .....	44
<b>Tabla 11</b> Tasas de crecimiento vehicular para la provincia de Pichincha .....	45
<b>Tabla 12</b> Proyección del tráfico para el año 2033 y 2038 .....	46
<b>Tabla 13</b> TPDA final para un periodo de 10 y 20 años.....	48
<b>Tabla 14</b> Velocidades de diseño en función del tipo de terreno y TPDA .....	50
<b>Tabla 15</b> Velocidades de circulación.....	51
<b>Tabla 16</b> Velocidades de circulación determinada en campo .....	52
<b>Tabla 17</b> Ecuaciones de predicción de la velocidad de operación .....	57
<b>Tabla 18</b> Tipos de Maniobra con su respectivo tiempo estimado .....	59
<b>Tabla 19</b> Datos topográficos de la etapa Nro. 1 .....	64
<b>Tabla 20</b> Resultados de la temperatura limite en cada tramo.....	66
<b>Tabla 21</b> Velocidad de operación de cada tramo.....	68
<b>Tabla 22</b> Velocidad de operación de cada tramo .....	69
<b>Tabla 23</b> Constantes para velocidad de entrada de 101 a 140 km/h .....	79
<b>Tabla 24</b> Ubicación del levantamiento topográfico .....	83

**Tabla 25** *Gama del color rojo, blanco, amarillo a usarse en el señalamiento horizontal*

..... 87

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ubicación de la zona de investigación</i>	3
<b>Figura 2</b>	<i>Puntos Peligrosos en la Av. Simón Bolívar</i>	6
<b>Figura 3</b>	<i>Radars de velocidad en la Av. Simón Bolívar</i>	7
<b>Figura 4</b>	<i>Estado actual de la Av. Simón Bolívar</i>	7
<b>Figura 5</b>	<i>Baches en la Avenida Simón Bolívar</i>	8
<b>Figura 6</b>	<i>Intervención de la EPMMOP en la Av. Simón Bolívar</i>	8
<b>Figura 7</b>	<i>Distribución de las precipitaciones en el DMQ</i>	9
<b>Figura 8</b>	<i>Viviendas al borde de talud</i>	10
<b>Figura 9</b>	<i>Tubería colocada en el talud</i>	11
<b>Figura 10</b>	<i>Talud ubicado en la Av. Simón Bolívar</i>	11
<b>Figura 11</b>	<i>Mantenimiento preventivo realizado a talud</i>	12
<b>Figura 12</b>	<i>Caída de roca sobre la Av. Simón Bolívar</i>	13
<b>Figura 13</b>	<i>Derrumbe en la Av. Simón Bolívar</i>	13
<b>Figura 14</b>	<i>Intervención en la Av. Simón Bolívar</i>	14
<b>Figura 15</b>	<i>Publicación por parte del Municipio de Quito sobre el mantenimiento vial</i>	15
<b>Figura 16</b>	<i>Tipos de rampa de frenado</i>	17
<b>Figura 17</b>	<i>Rampa de frenado ascendente</i>	18
<b>Figura 18</b>	<i>Rampa de frenado horizontal</i>	18
<b>Figura 19</b>	<i>Rampa de frenado descendente</i>	19
<b>Figura 20</b>	<i>Rampa de frenado con montículo de arena</i>	19
<b>Figura 21</b>	<i>Elementos de las rampas de frenado</i>	20
<b>Figura 22</b>	<i>Señalética de una rampa de frenado</i>	21
<b>Figura 23</b>	<i>Distintos Diseños de Rampas de frenado</i>	25
<b>Figura 24</b>	<i>Disposición del lecho de frenado en la rampa de frenado</i>	27

<b>Figura 25</b>	<i>Elementos del subdrenaje</i> .....	29
<b>Figura 26</b>	<i>Ubicación de las estaciones en donde se realizaron los conteos manuales</i> .....	35
<b>Figura 27</b>	<i>Aplicación “Contador”</i> .....	36
<b>Figura 28</b>	<i>Formato de registro de conteo vehicular manual</i> .....	37
<b>Figura 29</b>	<i>Tabla nacional de pesos y dimensiones</i> .....	38
<b>Figura 30</b>	<i>Clasificación funcional de las vías</i> .....	49
<b>Figura 31</b>	<i>Perfil de elevación del tramo analizado</i> .....	62
<b>Figura 32</b>	<i>Etapa Nro. 1</i> .....	63
<b>Figura 33</b>	<i>Etapa Nro. 2</i> .....	63
<b>Figura 34</b>	<i>Límite inferior en donde se podría ubicar la rampa de frenado</i> .....	72
<b>Figura 35</b>	<i>Límite superior en donde se podría ubicar la rampa de frenado</i> .....	73
<b>Figura 36</b>	<i>Área delimitada en donde podría estar ubicada la rampa de frenado</i> .....	74
<b>Figura 37</b>	<i>Rampa de frenado ascendente</i> .....	75
<b>Figura 38</b>	<i>Estructura de un pavimento flexible</i> .....	78
<b>Figura 39</b>	<i>Subdrén típico</i> .....	81
<b>Figura 40</b>	<i>Esquema de Raya de emergencia discontinua</i> .....	86
<b>Figura 41</b>	<i>Esquema de Raya de emergencia continua</i> .....	88
<b>Figura 42</b>	<i>Marca para la zona de acceso a la rampa</i> .....	89
<b>Figura 43</b>	<i>Leyenda propuesta para el señalamiento horizontal</i> .....	90
<b>Figura 44</b>	<i>Ubicación de los botones reflectantes</i> .....	91
<b>Figura 45</b>	<i>Ejemplo de señales restrictivas y preventivas</i> .....	92
<b>Figura 46</b>	<i>Representación de la señal R4-1 y R5-1</i> .....	93
<b>Figura 47</b>	<i>Señal preventiva P6-1</i> .....	94
<b>Figura 48</b>	<i>Señal informativa de destino SID-13</i> .....	95
<b>Figura 49</b>	<i>Ejemplo real de la señal informativa de destino SID-13</i> .....	95



<b>Figura 50</b> <i>Señal informativa de destino SID-15</i> .....	96
<b>Figura 51</b> <i>Ejemplo real de la señal informativa de destino SID-13</i> .....	96
<b>Figura 52</b> <i>Señales informativas de recomendación SIR</i> .....	98
<b>Figura 53</b> <i>Señal de información general SIG</i> .....	99
<b>Figura 54</b> <i>Ejemplo real de la señal informativa general SIG</i> .....	99
<b>Figura 55</b> <i>Señal obstrucción central en la vía D5-1</i> .....	100
<b>Figura 56</b> <i>Poste delineador</i> .....	100
<b>Figura 57</b> <i>Esquema del señalamiento horizontal y vertical para una vía de dos o más carriles</i> .....	101

## RESUMEN

La Avenida Simón Bolívar, es una de las vías más importantes de la provincia de Pichincha, ya que interconecta a toda la ciudad de Quito, desde la parte sur hasta el norte, además permite el acceso hacia los valles, por esta razón el volumen de tráfico en esta fundamental arteria vial es considerable y la ocurrencia de accidentes de tránsito es elevada. La problemática se enfoca en aquellos accidentes cuyo principal factor del siniestro se deba a la pérdida del control del vehículo debido al fallo mecánico en el sistema de frenado del vehículo, siendo el tramo de estudio uno de los puntos más conflictivos y con mayor tasa de accidentes vehiculares.

El presente proyecto técnico presenta el análisis para determinar la necesidad, ubicación ideal y los parámetros básicos del diseño geométrico de la rampa de frenado de emergencia, basados en normativas internacionales e investigaciones nacionales sobre el tema. Con lo cual se busca que existe una estructura de seguridad que facilite la salida de la vía de vehículos que presenten fallo en el sistema de frenado hacia un sitio seguro que cuente con diversos componentes que faciliten la disminución de la velocidad hasta que el vehículo quede completamente detenido, sin comprometer la seguridad de los ocupantes del vehículo o de los usuarios que transitan por la vía.

Se realizó el estudio de tráfico llegando a determinar el TPDAf que circula por el tramo y clasificando la vía en función a este, por otra parte, se realizó el estudio bibliográfico de las distintas normas, empleando el método analítico para cumplir con todos los parámetros y sea un diseño viable. El levantamiento topográfico realizado nos sirvió para clasificar el terreno según su orografía en el sitio donde se determinó la implantación de la rampa de frenado.

Con todo lo antes mencionado se obtuvo el diseño geométrico de la rampa de frenado, la cual estará ubicada en el sector de La Forestal Alta y cuya longitud total calculada fue de

325 metros, en la cual consta una longitud de transición de 70 metros, el ancho de la cama de frenado calculado fue de 10 metros todo acorde con la normativa internacional mexicana y AASHTO 2011.

**Palabras Clave:** lecho de frenado, seguridad vial, GRSS, rampa de frenado, accidentes de tránsito.

## **ABSTRACT**

Simon Bolivar Avenue is one of the most important roads in the province of Pichincha, since it interconnects the entire city of Quito, from the south to the north, and also provides access to the valleys, for this reason the volume of traffic on this fundamental road artery is considerable and the occurrence of traffic accidents is high. The problem is focused on those accidents whose main cause is due to loss of control of the vehicle due to mechanical failure of the vehicle's braking system. The section under study is one of the most conflictive points with the highest rate of vehicular accidents.

This technical project presents the analysis to determine the need, ideal location, and basic parameters of the geometric design of the emergency braking ramp, based on international regulations and national research on the subject. With which it is sought that there is a safety structure that facilitates the exit from the road of vehicles that present failure in the braking system to a safe place that has several components that facilitate the decrease of speed until the vehicle is completely stopped, without compromising the safety of the occupants of the vehicle or the users who travel on the road.

The traffic study was conducted to determine the TPDAf that circulates through the section and classifying the road according to this, on the other hand, the bibliographic study of the different standards was conducted, using the analytical method to comply with all the parameters and to be a viable design. The topographic survey was used to classify the terrain according to its orography in the site where the implementation of the braking ramp was determined.

With all the above mentioned we obtained the geometric design of the braking ramp, which will be located in the sector of La Forestal Alta and whose total calculated length was 300 meters, in which there is a transition length of 45 meters, the width of the

calculated braking bed was 10 meters, all according to the Mexican and AASHTO 2011 international standards.

**Key words:** braking bed, road safety, GRSS, braking ramp, traffic accidents.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

### 1.1. Problema de estudio

El problema es la falta de una zona segura de frenado para los vehículos que hayan sufrido algún desperfecto debido a fallas mecánicas. Esta situación causa graves accidentes de tránsito con pérdidas materiales y humanas.

#### 1.1.1. Antecedentes

La Avenida Simón Bolívar es una de las vías más importantes del Distrito Metropolitano de Quito y una de las más transitadas. Por esta vía circulan vehículos de todo tipo, entre los más comunes se encuentran buses de transporte público y vehículos de carga pesada y son los más propensos a sufrir desperfectos mecánicos en su sistema de frenado, ya sea por su uso prolongado o por la falta de mantenimiento de los vehículos.

El alto índice de accidentes de tránsito en esta vía hace que sea una de las más peligrosas no solo de Quito sino del país. La Agencia Nacional de Tránsito (ANT) en el informe sobre siniestros de tránsito en el país, registra que de enero a diciembre del 2022 se han producido 276 accidentes a lo largo de la avenida. (ANT, 2022). Las pendientes pronunciadas en varios tramos de la avenida generan que los vehículos de carga pesada al circular por esta vía incrementan su velocidad y superen los límites de seguridad, poniendo en riesgo no solo a otros vehículos que circulan por la vía, sino también a la población que esta ha construido sus viviendas al pie de la calle.

Frente a esta posibilidad los riesgos de que ocurran accidentes de tránsito graves son elevados, además en esta vía los factores climáticos incrementan en gran medida los riesgos. Por lo que, en la Avenida Simón Bolívar es necesaria la implementación de una rampa de emergencia de frenado para todo tipo de vehículos, ayudando a que su

velocidad se reduzca paulatinamente para después detenerlos por completo, con esto se logra reducir los siniestros de tránsito y los daños materiales que se puedan producir.

### **1.1.2. Importancia y alcance**

La gran cantidad de accidentes de tránsito en esta vía ocasiona que haya pérdidas humanas, personas heridas de gravedad, daños materiales en vehículos, vías o infraestructura, además se generan molestias en la ciudadanía después del accidente, esto hace que su bienestar también se vea afectado.

Por lo general estos accidentes se deben a causas imputadas a la imprudencia o impericia del conductor, sin embargo, existe un elevado número de casos en que la causa se debe a la pérdida del control del vehículo por fallas mecánicas en el sistema de frenos. (Calderón y Palacios, 2006, p.19).

Entonces, al contar con una rampa de frenado en la Avenida Simón Bolívar, se solucionarían los problemas que en lo posterior pueden causar accidentes de tránsito, reduciendo así el porcentaje de siniestros en la vía y dándole una mayor seguridad vial a los usuarios que por ahí transitan a diario u ocasionalmente.

Según las estadísticas de la Agencia Nacional de Tránsito, desde el año 2017 hasta el año 2023, en la provincia de Pichincha, cantón Quito se han registrado 481 siniestros de tránsito, debido a fallas mecánicas en los sistemas y/o neumáticos (sistema de frenos, dirección electrónica o mecánico). Consecuencia de esto han fallecido in situ 31 personas y hubo 344 lesionados. (ANT, 2023).

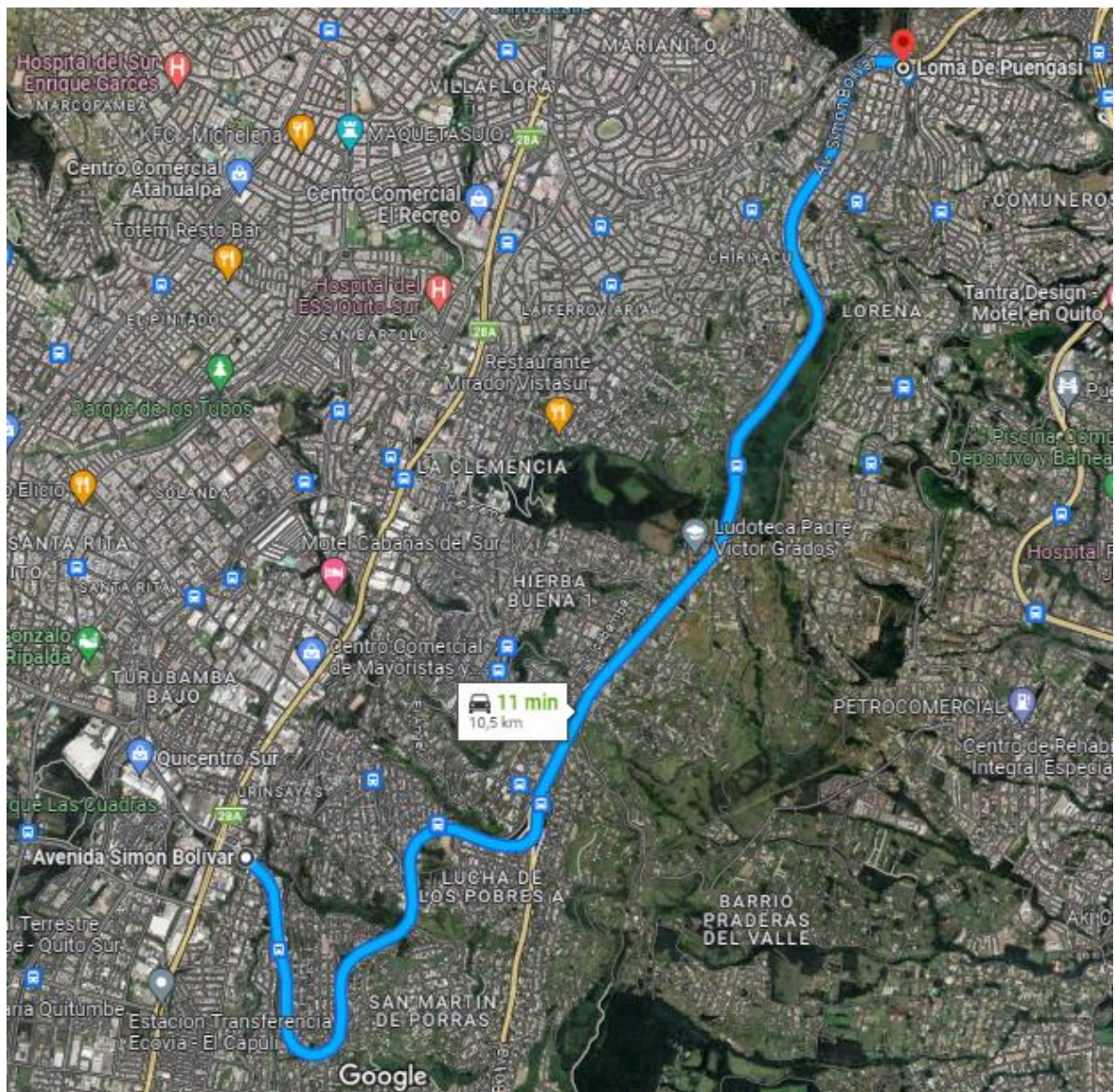
Se presentará a través de este proyecto una solución a los problemas relacionados con los accidentes de tránsito que se generan en la Avenida Simón Bolívar, diseñando una rampa de frenado en el tramo Intercambiador Morán Valverde – Puengasí para los vehículos que tienen problemas con el sistema de frenado u otros problemas mecánicos.

### 1.1.3. Delimitación

La zona donde se desarrollará el proyecto se encuentra en la provincia de Pichincha, cantón de Quito, en la Avenida Simón Bolívar, tramo intercambiador Morán Valverde – Puengasí, sentido norte-sur y sur-norte. Además, el proyecto se localiza en la zona 17M, desde las coordenadas 778522.04 m al Este y 9973171.71 m al Sur hasta las coordenadas 774244.62 m al Este y 9967797.13 m al Sur.

**Figura 1**

*Ubicación de la zona de investigación*



*Nota.* En esta figura se muestra el tramo de la Avenida Simón Bolívar en donde se realizará la investigación. Elaborado por: El autor a través de Google Mapa, 2023.



## **1.2. Justificación**

El presente proyecto técnico surge de la necesidad de contar una rampa de frenado que auxilie a los conductores que tengan problemas con el sistema de frenado del vehículo, aportando con una solución a la problemática de seguridad vial que afecta a los usuarios de la Avenida Simón Bolívar, siendo esta una de las avenidas con alto volumen de tránsito y elevado porcentaje de accidentes de tránsito.

Este proyecto técnico beneficiará a los conductores que padezcan de algún problema mecánico en su vehículo al momento de circular por la avenida Simón Bolívar, a los usuarios que a diario u ocasionalmente utilizan esta avenida por temas de movilidad y también a la población aledaña a la vía, evitando así posibles daños materiales que puedan ocurrir en sus viviendas.

La investigación es factible, ya que se cuenta con las normas internacionales relacionadas con el diseño y construcción de rampas de frenado, entre ellas: AASTHO 2011, Manual de Seguridad Vial del Perú 2017, Norma Oficial Mexicana 2022, dichas normas se usarán para sustentar la investigación propuesta, a pesar de que no existen estudios precedentes, estos no son indispensables para la investigación. Se dispone de la inspección de seguridad vial de la Avenida Simón Bolívar realizada por la consultora RHV Cía. Ltda., además se cuenta con el material necesario para llevar a cabo el análisis de tráfico vehicular y para efectuar el modelado digital de la rampa de frenado se cuenta con el software de diseño para ingeniería “Civil 3D”.

La finalidad de la investigación es presentar una propuesta de diseño de una rampa de frenado técnicamente sustentada por normas y estudios afines al tema, para que en lo posterior en la avenida Simón Bolívar se aplica dicha estructura y los usuarios puedan aprovecharla al máximo, evitando así los problemas que conlleva sufrir un accidente de tránsito grave.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar una rampa de frenado para la Avenida Simón Bolívar, con base en estudios y normativa, tanto nacional como internacional, para reducir el porcentaje de los accidentes viales por fallo en el sistema de frenos de los vehículos.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Recopilar los datos estadísticos de accidentes de tránsito ocurridos en la Avenida Simón Bolívar por medio de la base de datos de la ANT para determinar los siniestros ocurridos a causa de la falla del sistema de frenado.

Determinar en la zona de estudio los posibles sitios críticos mediante el recorrido en auto y la inspección in situ de cada uno de los puntos críticos del tramo para determinar las características topográficas de la vía.

Realizar el estudio de tráfico vehicular a través del conteo manual in situ para determinar el volumen de tránsito diario y la participación de los vehículos pesados en la avenida.

Determinar la ubicación adecuada en la Avenida Simón Bolívar, a través del estudio de la normativa AASHTO y en estudios nacionales para la correcta implantación de la rampa de frenado.

Realizar el levantamiento topográfico del sitio donde se ubicará la rampa de frenado, haciendo uso de la estación total para determinar las características topográficas del terreno.

Adaptar la rampa de frenado al diseño geométrico de la avenida, según los resultados que se obtengan de la investigación para cumplir con las demandas de los usuarios.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado actual de la vía

La Avenida Simón Bolívar está localizada en la parte oriental del Distrito Metropolitano de Quito y es una de las vías de mayor circulación vehicular de la ciudad de Quito. Esta avenida conecta el sur con el norte, ya que atraviesa longitudinalmente la ciudad de S-N y N-S, en la parte sur la avenida inicia en el Intercambiador Curva de Santa Rosa y finaliza en el Intercambiador de Carapungo al norte de la ciudad, además existe la prolongación hacia la Avenida Manuel Córdova Galarza que hace que esta vía rápida tenga una longitud aproximada de 57 kilómetros.

Existen 6 puntos conflictivos que representan un peligro constante al momento de circular por esta Avenida. Cada punto tiene su complejidad, el más común se debe a la configuración geométrica que posee la vía, la velocidad, las condiciones climáticas, falta de mantenimiento, el modo agresivo de conducción de los choferes de buses y camiones, la falta de señalización son algunos de los factores de riesgo de la Avenida Simón Bolívar.

**Figura 2**

*Puntos Peligrosos en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Puntos conflictivos donde ocurren con mayor frecuencia accidentes de tránsito.  
Fuente: (El Comercio, 2019)

Según la AMT en esta vía existen 7 radares fijos de velocidad. Estos muestran la velocidad a la que el conductor va. Las fotomultas se realizan cuando se supera el límite de velocidad de 90 km por hora.

### **Figura 3**

*Radar de velocidad en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Radar ubicado en la prolongación de la Av. Simón Bolívar, Fuente: (El Comercio, 2018)

El deterioro de la vía se puede evidenciar en varios tramos, tal como se muestra en la figura 4 y 5. Durante el recorrido llevado a cabo el martes 30 de mayo del 2023 se observó grietas, baches y hundimientos en la vía.

### **Figura 4**

*Estado actual de la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Baches en la Av. Simón Bolívar, sector La Forestal, Fuente: (El Comercio, 2019)

## Figura 5

### *Baches en la Avenida Simón Bolívar*



*Nota.* La falta de mantenimiento de la vía ha ocasionado la presencia de baches a lo largo de la Avenida Simón Bolívar, Fuente: (El Comercio, 2019)

## Figura 6

### *Intervención de la EPMMOP en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Maquinaria y trabajadores realizan el mantenimiento a la capa de rodadura, Fuente: (Expreso, 2022)

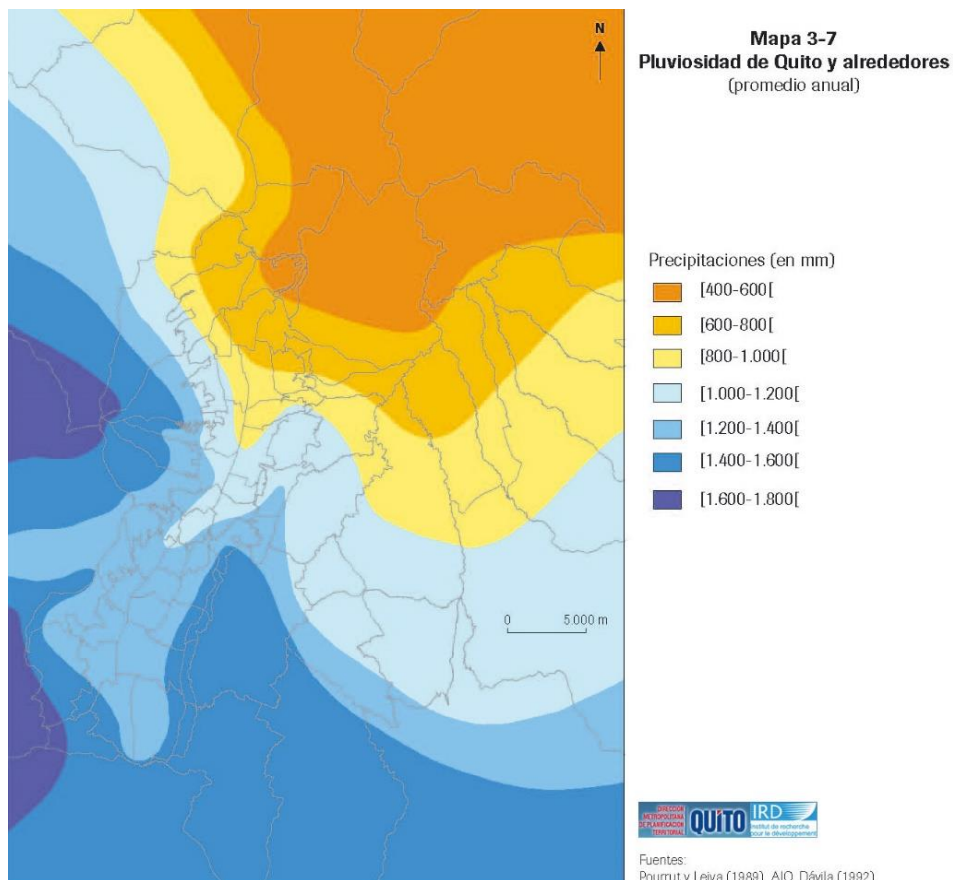
### 2.1.1. Condiciones Climáticas

De manera general, el clima alrededor de la Avenida Simón Bolívar corresponde a un clima subtropical de tierras altas. En la figura 6 se observan distintos colores, los cuales representan el promedio de precipitación anual en esa zona. El DMQ presenta una gran diversidad en la distribución de lluvias, en el sur de la ciudad las lluvias están en torno a los 1400 mm por año, mientras que en el norte son menos abundantes y están cerca de 800 mm por año.

Debido a que los accidentes de tránsito suelen estar relacionados de manera directa e indirecta con las condiciones climáticas, es esencial disponer de la información sobre las precipitaciones en torno a la zona de estudio.

#### Figura 7

Distribución de las precipitaciones en el DMQ



*Nota.* Pluviosidad de Quito y alrededores, Fuente: (Purrú & Leiva S, 1989; ALQ Dávila, 1992)



### 2.1.2. Estabilidad de Taludes y Derrumbes

El constante crecimiento urbano del DMQ genera problemas geotécnicos relacionados con los taludes, además, la construcción de viviendas que no cumplen con las normas de construcción y la saturación del suelo debido al inadecuado manejo de aguas servidas, alteran las características propias del terreno, lo que hace que aumenten las probabilidades de ocurrencia de eventos como deslizamientos, derrumbes, hundimientos.

#### **Figura 8**

*Viviendas al borde de talud*



*Nota.* Zona con alta probabilidad de sufrir un deslizamiento, ubicadas en la Av. Simón Bolívar, Elaborado por: El autor a través de Google Maps, 2023.

## Figura 9

*Tubería colocada en el talud*



*Nota.* Descarga directa de agua al pie del talud, Elaborado por: El autor a través de Google Mapa, 2023.

Según Miranda (2021) “Es difícil que haya fallas por el diseño porque esto se hace con un proceso calculado. Por esta razón, es necesario el mantenimiento para que los taludes mantengan sus características geomecánicas e hidráulica”.

## Figura 10

*Talud ubicado en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Limpieza en talud de la Av. Simón Bolívar, Fuente: (Quito Informa, 2020)



El mantenimiento de los taludes se lo realiza con la finalidad de asegurar la estabilidad de los taludes y permitir una circulación segura. Además, contempla la limpieza de la capa vegetal, perfilado del talud, colocación de la malla de sostenimiento, perforación y colocación de anclajes, lanzamiento de hormigón y la construcción de una cuneta de coronación.

### **Figura 11**

*Mantenimiento preventivo realizado a talud*



*Nota.* Perfilado del talud ubicado en la Av. Simón Bolívar, Fuente: (Quito Informa, 2020)

La falta de mantenimiento es una de las principales causas para que ocurran deslaves o derrumbes, ya que estos nos son imprevisto, el suelo del talud suele presentar fisuras o fallas antes de colapsar, por lo que sí se realiza un mantenimiento preventivo esto puede evitarse.

## Figura 12

*Caída de roca sobre la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Vehículo destruido por el impacto de una roca de gran tamaño, Fuente: (El Comercio, 2020)

## Figura 13

*Derrumbe en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Maquinaria operativa del Municipio de Quito realizan retiro de escombros producto de un derrumbe, Fuente: (Centro de Operaciones de Emergencia Quito, 2017)

### **2.1.3. Planificación del mantenimiento que se realiza en la vía por parte de la EPMMOP.**

Para realizar los mantenimientos en la vía se establecerán cierres de carriles en los tramos intervenidos. Según la EPMMOP (2019), “El condicionante principal para el progreso normal de estos trabajos, depende de las condiciones climáticas”.

Con el fin de garantizar la seguridad de peatones, conductores, personal y maquinaria de obra, el procedimiento empieza con la colocación de la señalética de seguridad para el control del tráfico, luego se retira la capa asfáltica deteriorada. Se procede a realizar el bacheo y finalmente se compacta con un rodillo liso, posterior a esto la circulación vehicular vuelve a la normalidad. “En ciertos tramos de la vía se realiza el sello de fisuras y la colocación de sello asfáltico llamado Sury seal, lo cual permite prevenir mayores afectaciones en la calzada” (Alcandía de Quito, 2015).

#### **Figura 14**

*Intervención en la Av. Simón Bolívar*



*Nota.* Colocación de parches en la Av. Simón Bolívar a la altura del colegio Ludoteca, Fuente: (El Comercio, 2022)

La seguridad vial se ejecuta a través de la señalización horizontal y vertical que se efectúa durante la noche, de 21h00 a 03h00, con el fin de no afectar a la circulación



vehicular, en la señalización se utiliza pintura acrílica blanca y amarilla con el fin de realizar el trazado de las líneas de división de carriles, cruces peatonales o pasos cebra, líneas canalizadoras, paradas de buses, flechas de direccionamiento, textos de alerta en la calzada, líneas berma.

### Figura 15

*Publicación por parte del Municipio de Quito sobre el mantenimiento vial*



*Nota.* Mantenimiento de los chevrones en la Av. Simón Bolívar, Fuente: (Obras Quito, 2019)

### 2.2. Socialización del uso de la zona de frenado de emergencia.

Es importante poseer un sistema que sea capaz de generar suficiente confianza en los usuarios, para lo cual, se debe concientizar a los conductores sobre el uso correcto de

las rampas de frenado. Esto se logra creando campañas y capacitando tanto a los conductores profesionales, así como a la población en general, con el fin de que conozcan el funcionamiento y utilización de las rampas de frenado.

### **2.3. Rampas de frenado**

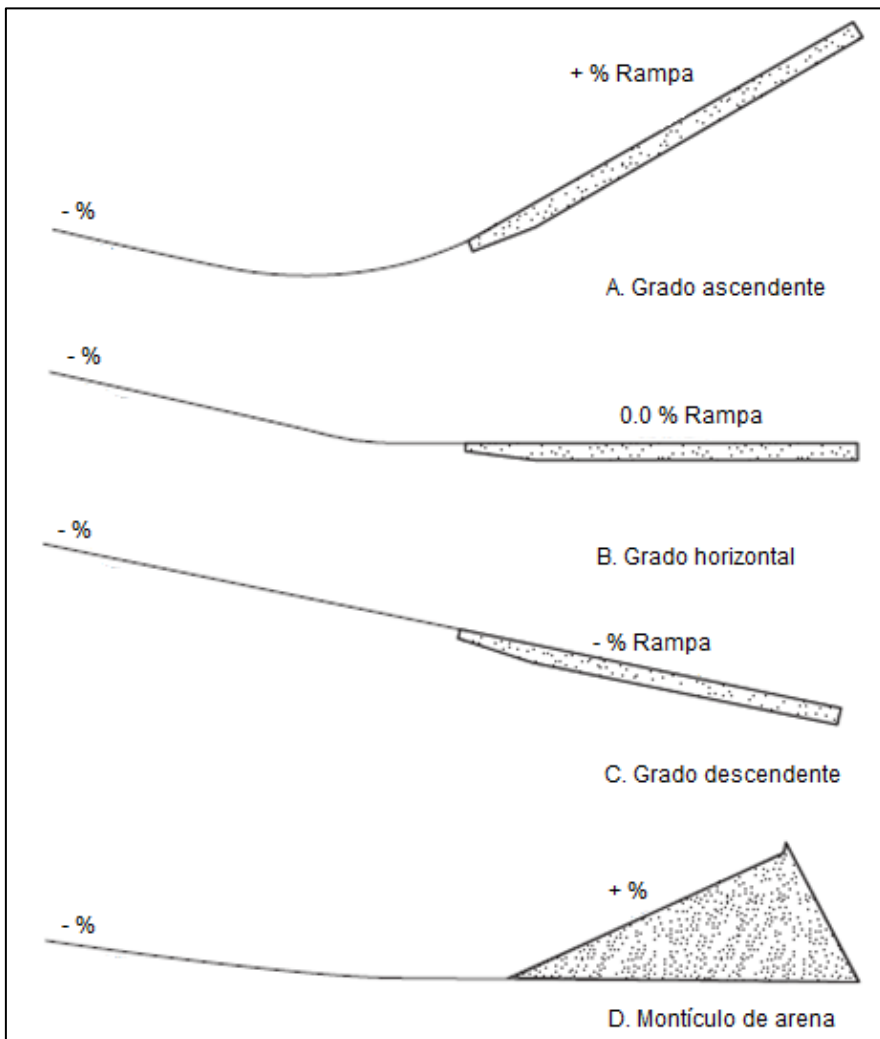
Una rampa de frenado es una sección especial de la carretera diseñada para detener un vehículo fuera de control de forma segura y eficaz (Calderón y Palacios, 2006). Estados Unidos fue el primer país del mundo en implementar rampas de frenado, esto ocurrió a mediados de la década de 1950 en las principales carreteras montañosas del estado de California y nacen de la necesidad de detener vehículos que han perdido el control. El diseño y la construcción de las rampas de frenado se han perfeccionado con el pasar del tiempo, lo que ha hecho que su eficacia y seguridad aumente para los usuarios que hacen uso de esta. Los factores como la velocidad del vehículo, el tipo de material granular del lecho de frenado, la inclinación de la rampa, la longitud de la rampa, entre otros, son importantes, ya que son parte fundamental del diseño y de esto dependerá la correcta funcionalidad de la rampa.

### **2.4. Tipos de Rampas de Frenado**

Las rampas de frenado se clasifican en tres grandes categorías: rampa de gravedad, de lecho de frenado y de montículo de arena. Dentro de estas categorías existen cuatro diseños básicos que se deben conocer (AASTHO, 2011). Estos cuatro tipos se ilustran en la figura 2.

**Figura 16**

*Tipos de rampa de frenado*



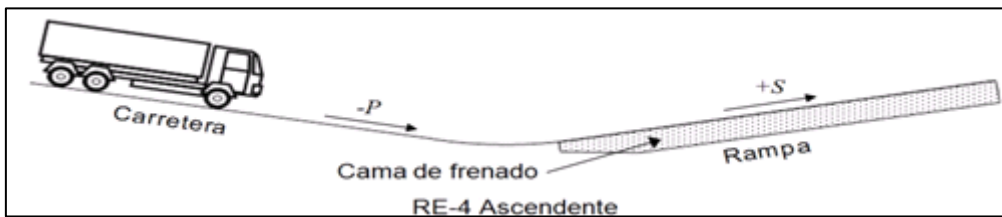
*Nota.* En esta figura se muestran los cuatro diseños básicos de las rampas de frenado.  
Fuente: (Adaptado de AASTHO, 2011, p. 144)

#### **2.4.1. Rampa de frenado ascendente**

Estas rampas cuentan con un lecho de frenado y una pendiente longitudinal ascendente, aprovechan al máximo la acción de la gravedad para reducir la velocidad del vehículo y también la resistencia a la rodadura generada por el lecho de frenado, suelen tener una longitud menor que las rampas de frenado descendente (Cárcamo, 2014).

**Figura 17**

*Rampa de frenado ascendente*



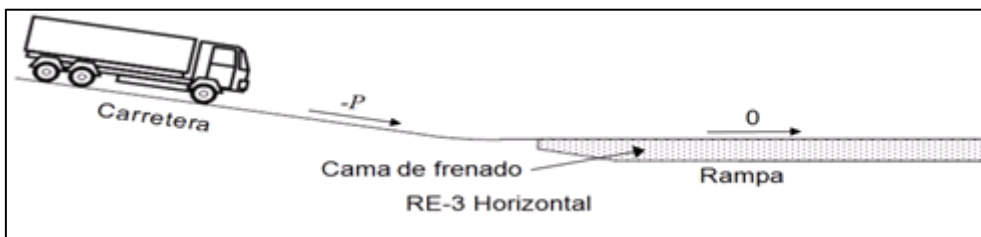
*Nota.* Esquema tradicional de este tipo de rampa. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 4)

### 2.4.2. Rampa de frenado horizontal

La característica principal de esta rampa es que no tienen pendiente, es decir tiene una superficie horizontal plana. El espesor del lecho de frenado es uniforme en toda su longitud. Al no existir una pendiente, la detención del vehículo se limita a la resistencia a la rodadura que proporcione el material granular que haya en la rampa, por lo general estas rampas suelen ser extensas (Calderón y Palacios, 2006).

**Figura 18**

*Rampa de frenado horizontal*



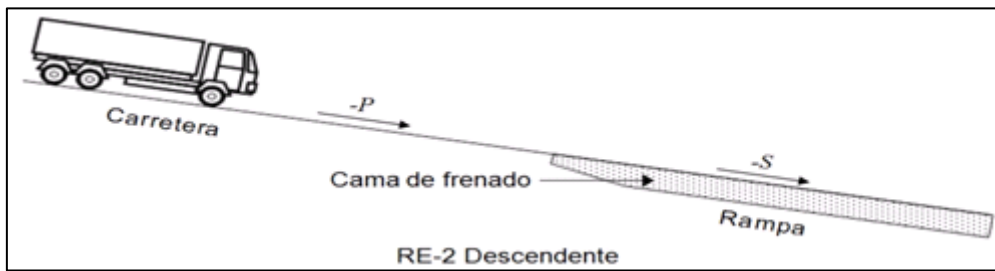
*Nota.* Esquema tradicional de este tipo de rampa. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 4)

### 2.4.3. Rampa de frenado descendente

Cuentan con un lecho de frenado de espesor uniforme, su pendiente longitudinal descendente junto con el efecto de la gravedad hacen que la velocidad del vehículo incremente, por lo cual el material granular de la estructura tiene un rol muy importante (Cárcamo, 2014).

## Figura 19

### Rampa de frenado descendente



Nota. Esquema tradicional de este tipo de rampa. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 4)

#### 2.4.4. Rampa de frenado con montículo de arena

Estas rampas no cuentan con un lecho de frenado, su estructura se compone de arena suelta y seca, a medida que la pendiente crece su espesor también aumenta, lo que hace que la resistencia a la rodadura de las llantas proporcionada por la arena aumente. Se debe tomar en cuenta que las condiciones climáticas pueden afectar la estructura de la rampa, además esta rampa solo se debe usar cuando se tenga espacio insuficiente y el estudio técnico lo justifique (Ramírez, 2016).

## Figura 20

### Rampa de frenado con montículo de arena



Nota. Esquema tradicional de este tipo de rampa. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 4)

#### 2.5. Elementos principales de las rampas de frenado en avenidas

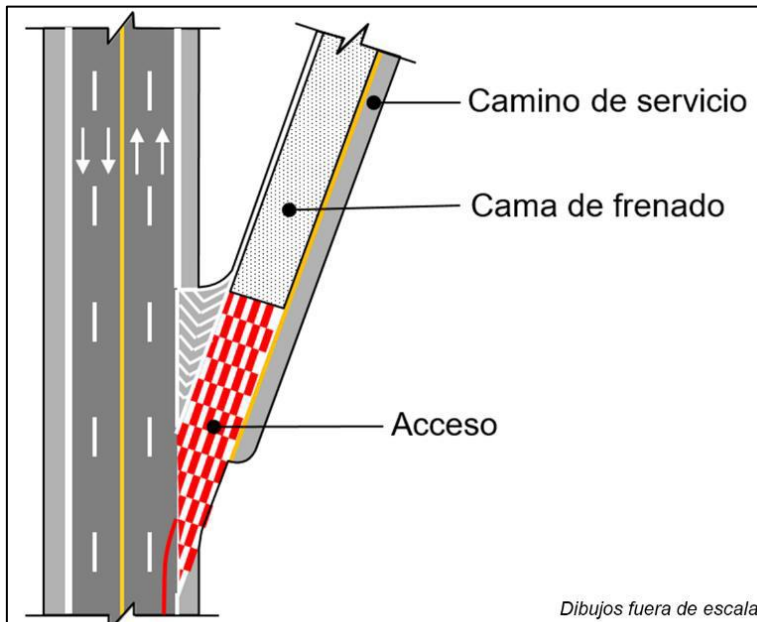
Según Gavidia y Pimentel (2016), “Son todos aquellos factores que conforman una rampa de frenado, estos elementos hacen que cada rampa sea un caso único de estudio determinado incluso el tipo de rampa más favorable a utilizar” (p.15). A



continuación, se muestra una gráfica con las características típicas de una rampa de frenado:

### Figura 21

*Elementos de las rampas de frenado*



*Nota.* Elementos importantes que toda rampa de frenado debe tener. Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 2022, p. 29)

### 2.6. Criterios de diseño

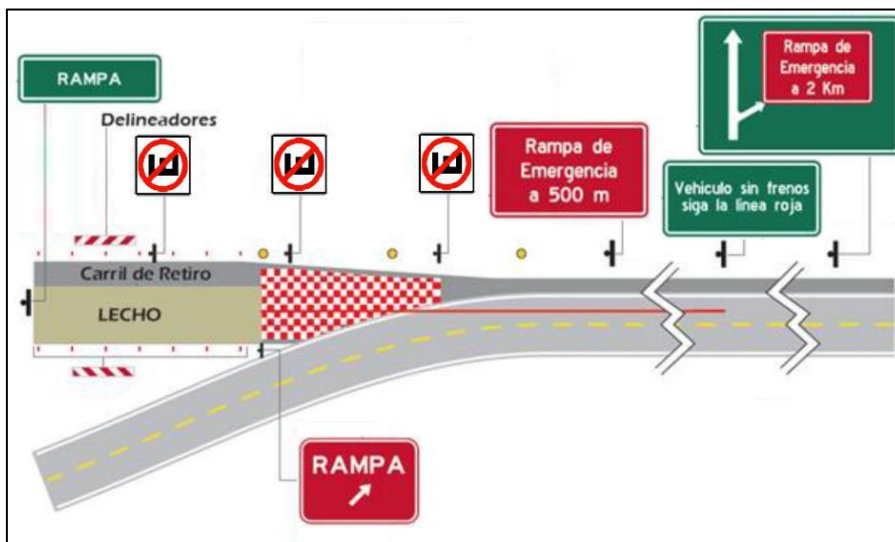
Existen fundamentos básicos en el diseño de las pistas de emergencia relacionados con las características físicas, pero también consideran la seguridad de los usuarios. El diseño de las pistas de emergencia está orientado a salvar vidas considerando que la persona que conduce un vehículo y que está completamente fuera de control, no se encuentra en condición de tomar decisiones o realizar maniobras complejas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2017, p.366)

El diseño de una rampa engloba la determinación de la ubicación, el tipo y geometría; el material granular que se usara, el sistema de drenaje, los materiales para su construcción y la señalización adecuada. Al diseñar una rampa de frenado, deben cumplirse al menos las siguientes condiciones:

- Amplio acceso con un ángulo de inclinación máximo de 15°.
- Buena visibilidad de toda la rampa de frenado durante la mayor parte del tiempo posible.
- Longitud recta suficiente.
- Materiales adecuados en el lecho de frenado.
- Vías adicionales para remolcar los vehículos y para las tareas de mantenimiento.
- Precauciones de seguridad, como iluminación nocturna y cámaras de seguridad.

**Figura 22**

*Señalética de una rampa de frenado*



*Nota.* Configuración común de señalización para rampas de frenado. Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, p. 76)

### 2.6.1. Criterio de necesidad

Las normativas proponen criterios para determinar la necesidad de una rampa de frenado, sin embargo, no se establece un proceso analítico que pueda responder la pregunta de si es necesario una rampa de frenado. Según el MTC (2017) justifica la implantación de una rampa de frenado cuando:

- Lugares con estadística de accidentes, causados por vehículos pesados fuera de control, debido a averías en el sistema de frenos.

- El concepto de frenos humeantes, que tiene relación con la condición de que presenta el sistema de frenos de un vehículo al ser constantemente utilizado; este concepto conlleva un análisis visual en la ruta.
- El volumen total de tránsito y flujo de los vehículos pesados.
- Geometría horizontal. Determinar la existencia de curvas que generen que la mayoría de los vehículos pesados fuera de control, se salgan antes de llegar a una pista de emergencia.
- Geometría vertical. Analizar la longitud y dimensión de las pendientes.
- Zonas con alto volumen de vehículos pesados y con pendiente sostenida superior a 5%; donde además se cumpla que la longitud de la pendiente en kilómetros (km) multiplicado por la pendiente en porcentaje (%) sea mayor a 60 ( $L * i^2 > 60$ ), como se muestra en la siguiente relación:

$$L * i^2 > 60.$$

Donde:

$L$  = Longitud en pendiente (km)

$i$  = Pendiente (%)

Si en la carretera se tiene una pendiente prolongada y antes de una curva en donde se tenga que reducir la velocidad, se tiene un tramo de carretera con una superficie horizontal plana o contrapendiente, se debe considerar un sitio no apto para la implementación de la rampa de frenado. También es importante considerar la existencia de habitantes y las actividades que se realicen cerca al lugar donde se implantara la rampa de frenado para evaluar los posibles riesgos, ya que en ciertos casos la seguridad de estas personas es una razón suficiente para justificar la construcción de la rampa.

### 2.6.2. Criterio de Ubicación

Determinar el sitio donde es necesaria una rampa de frenado no es sencillo, ya que se deben tomar en cuenta varias consideraciones, en la normativa AASTHO no se describe un proceso que determine la localización exacta de una rampa. Los factores que comúnmente se tienen que considerar al momento de buscar una localización según el (MTC, 2017) son:

- La rampa debe estar ubicada en un punto donde se puedan interceptar el mayor número de vehículos con problemas de frenado y antes de la ubicación donde hayan existido accidentes de tránsito ligados a problemas con los frenos.
- Debe estar implantada antes de las curvas que produzcan que el conductor no pueda maniobrar de la mejor manera y el vehículo pierda pista.
- La distancia a la que se debe observar la rampa debe darse desde un lugar lejano para que el conductor que vaya a hacer uso de esta se prepare y realice la maniobra de acceso con anticipación.
- La carretera debe contar con pre-señalización correctamente iluminada y colocada, para evitar que los usuarios confundan la rampa de frenado con la vía por la que transitan.

### 2.6.3. Velocidad de entrada a una rampa de frenado

“La velocidad de entrada a una rampa de emergencia para frenado puede determinarse mediante la siguiente expresión, con un límite máximo de 140 km/h” (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 6). La normativa AASHTO recomienda una velocidad límite máxima de 140 km/h.

$$Ve = \sqrt{Vp^2 - 254 * \sum_{i=1}^n Li * (Rp + Pi)}$$

Donde:

$V_e$  = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h

$V_p$  = Velocidad de operación en la entrada a una rampa previa, en km/h

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

$L_i$  = Longitud del subtramo  $i$ , 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), adimensional

$P_i$  = Pendiente descendente del subtramo  $i$ , en metro/metro

## **2.7. Diseño Geométrico de la rampa de frenado**

### **2.7.1. Ancho**

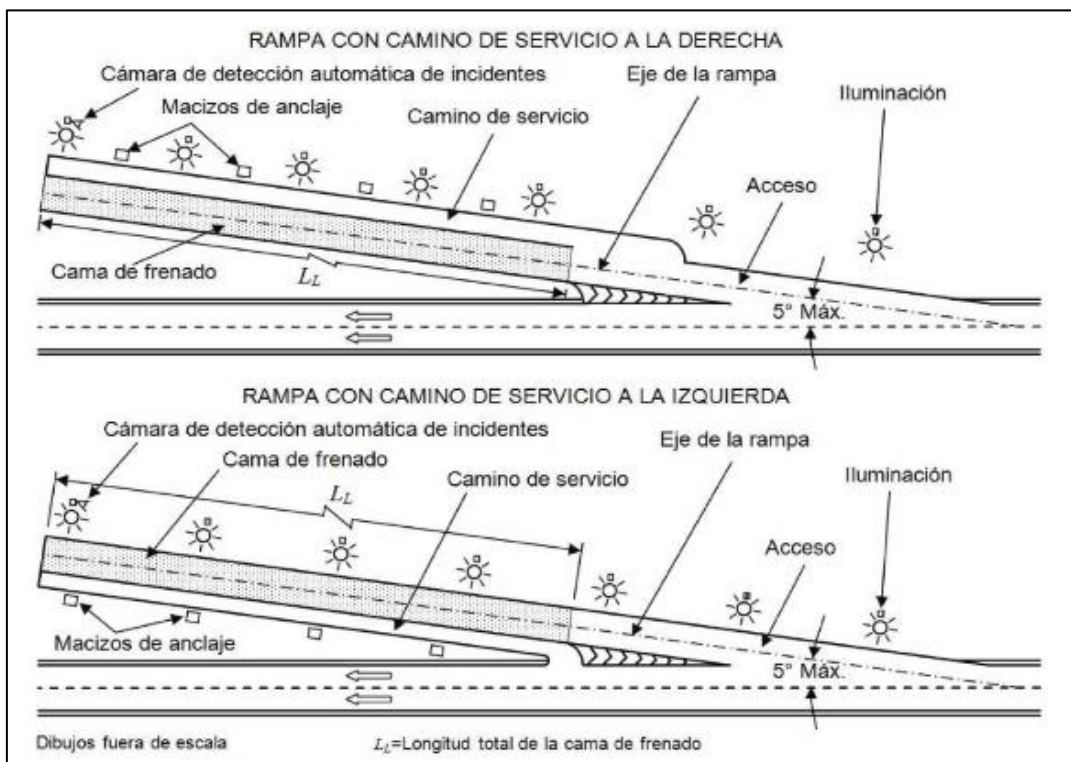
El ancho de la rampa de frenado debe permitir el acceso libre a los vehículos que la utilicen y debe contar con el espacio suficiente para realizar las tareas de remoción del vehículo. Un ancho recomendable es de 10 m, ya que se diseña para que la pista albergue a más de un vehículo, aunque no es común este caso, todo dependerá del volumen de tránsito, además debe tener en cuenta también la vía de servicio. (Ramírez, 2016)

### **2.7.2. Acceso**

El acceso debe estar completamente señalizado y despejado. El ángulo de acceso a la pista que comúnmente se utiliza es de  $5^\circ$ , aunque si el estudio técnico requiere de un ángulo de acceso mayor se podría diseñar bajo tal requerimiento (Valencia, 2021).

**Figura 23**

*Distintos Diseños de Rampas de frenado*



*Nota.* Esquema de colocación de elementos complementarios. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 3)

### 2.7.3. Longitud

El objetivo del lecho de frenado es disipar por completo la energía cinética del vehículo fuera de control, por lo que la longitud debe ser suficiente para cumplir con el objetivo y se determina por mediante las ecuaciones proporcionadas por la AASHTO.

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

Donde:

Le = Longitud efectiva de la cama de frenado, en metros.

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

Rm = Resistencia a la rodadura del material con que se formará la cama de frenado, de acuerdo con la tabla 1, (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente).

SI = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro, (adimensional).

**Tabla 1**

*Resistencia a la rodadura de los materiales ( $R_m$ )*

<b>Material de cama de frenado</b>	<b>Resistencia a la rodadura, <math>R_m</math></b>
Grava triturada suelta	0.05
Grava de río suelta	0.1
Arena Suelta	0.15
Gravilla uniforme suelta	0.25

*Nota.* Resistencia media normada de los materiales. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 8)

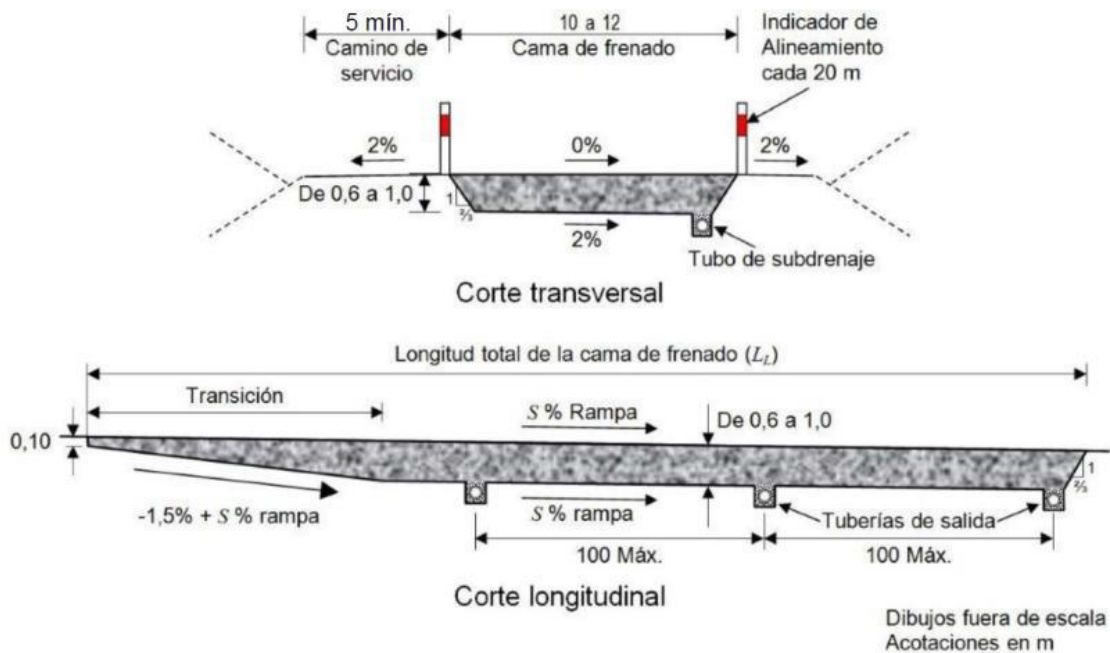
Si debido a limitaciones del terreno, el diseño de la rampa es limitado y no se puede instalar la longitud del lecho de freno requerida, para evitar que el vehículo se salga de la rampa, el sistema de freno del lecho debe complementarse con un dispositivo que permita que el vehículo se detenga de manera segura, por ejemplo: el dispositivo, que ha sido probado exhaustivamente y ha demostrado su eficacia para detener el vehículo sin lesionar a los ocupantes, está hecho de un balde de plástico lleno de agua y ubicado al final del lecho.

#### **2.7.4. Profundidad del lecho de frenado**

La normativa AASTHO permite que la profundidad sea desde 0.6 m a 1 m en rampas de tipo ascendente, horizontal y descendente. Esta profundidad debe diseñarse de modo que la profundidad vaya aumentando paulatinamente mientras se avanza por la rampa para evitar las desaceleraciones excesivas.

**Figura 24**

*Disposición del lecho de frenado en la rampa de frenado*



*Nota.* Corte transversal y longitudinal del lecho de frenado para rampa ascendente, horizontal y descendente. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 8)

### 2.7.5. Materiales

Los materiales granulares que se utilicen en el lecho de frenado deben cumplir con las características especificadas en los estudios técnicos que se realicen para el proyecto. También se debe tomar en consideración el pavimento tanto para el acceso, así como para el camino de servicio.

El material debe estar limpio, no debe ser fácil de compactar y su coeficiente de resistencia a la rodadura debe ser alto, además no se admiten agregados finos y arcillas.

Los requisitos que deben cumplir los materiales se muestran en la Tabla 2.

Según el MTC del Perú (2017), “Para asegurar la durabilidad y resistencia al desgaste del material tipo grava o gravilla en las pistas de emergencia, se debe realizar el ensayo de desgaste de Los Ángeles, considerándose 30% como un valor máximo” (p. 360).



**Tabla 2***Requisitos de los materiales*

<b>Granulometría</b>				
<b>Malla</b>		<b>Porcentaje que pasa</b>		
Abertura (mm)	Designación	Grava	Gravilla	Arena
37.5	1 1/2"	100	-	-
25	1"	95 min	-	-
12.5	1/2"	35 máx.	100	-
9.5	3/8"	-	95 min	100
6.3	1/4"	-	-	95 min
4.75	No.4	5 máx.	5 máx.	-
2	No.10	-	-	5 máx.
0.075	No.200	2 máx.	2 máx.	2 máx.
Característica		Valor		
Porcentaje máximo de desgaste por abrasión, usando la máquina de Los Ángeles.		30	30	30
Porcentaje máximo de partículas alargadas y lajeadas		25	25	25

*Nota.* Se muestran los diferentes materiales granulares que pueden formar parte del lecho de frenado. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 8)

**2.7.6. Drenaje y Subdrenaje**

Los aspectos relacionados con el drenaje son de suma importancia en el diseño de cualquier infraestructura vial, y para las rampas de frenado, son fundamentales para garantizar su buen desempeño. Cuando no se toma en cuenta de manera adecuada el efecto del agua en el diseño de una rampa, su funcionamiento puede volverse ineficiente e incluso peligroso. En este apartado, se destacan los elementos principales que deben considerarse en el diseño de una rampa en relación con el drenaje.

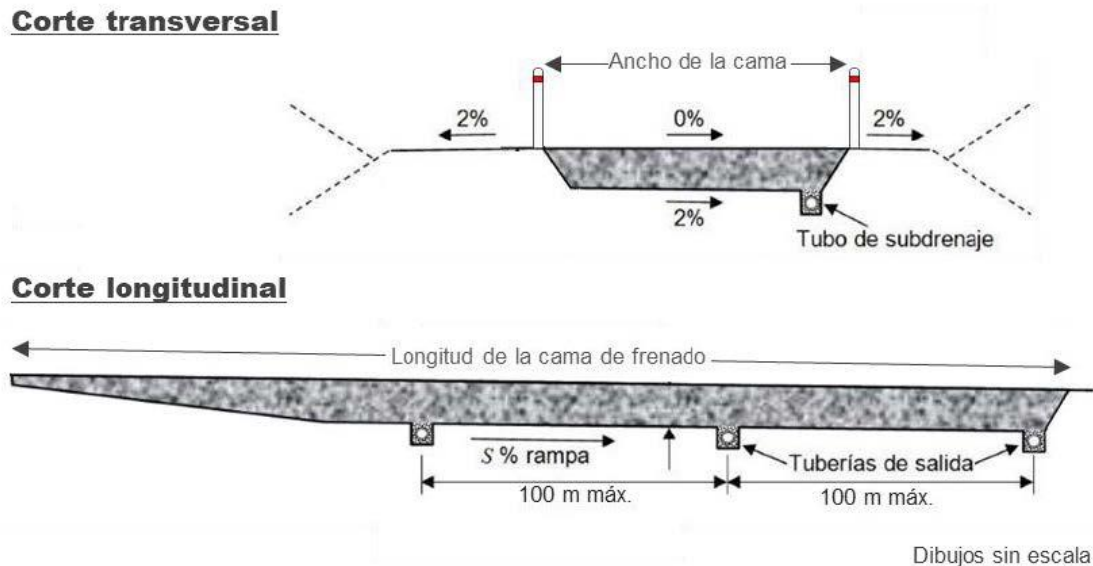
Como se sabe las rampas de frenado están expuestas a los efectos climatológicos y el contacto con agua lluvia es inevitable, los efectos varían según la zona en donde se pretenda ubicar la rampa, aun así, cada clima tiene su complejidad, en lugares donde

existen lluvias frecuentes la corriente del agua podría arrastrar material fino hacia el lecho de frenado provocando que la funcionalidad de la rampa de frenado sea ineficiente, además si el agua que escurre por la rampa de frenado no es evacuada de manera correcta esta podría estancarse en el lecho de frenado presentando un riesgo para los usuarios que deseen hacer uso de la rampa de frenado.

La normativa mexicana presenta ciertas recomendaciones en lo que se refiere a las pendientes que debe tener la rampa de frenado, estas se muestran en la figura 25. En el corte transversal se observa el bombeo que debe tomarse en cuenta en el fondo del lecho de frenado, también se puede observar que no debe existir bombeo en la superficie y que los caminos de servicio deben contemplar un bombeo de 2%. En el corte longitudinal se presentan los tubos destinados para el subdrenaje y se especifica su separación máxima.

**Figura 25**

*Elementos del subdrenaje*



*Nota.* Esquema del corte transversal y longitudinal del subdrenaje para una rampa de frenado. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 16)

En el diseño se deben considerar las áreas cercanas al lecho de frenado, ya que los bombeos son necesarios para desviar toda el agua que escurra y pueda ingresar a la cama de frenado, previniendo así la consolidación del material y preservando la funcionalidad. La presencia de material fino orgánico también puede llegar consolidar aún más el material del lecho de frenado porque permite el crecimiento vegetal y los vehículos pueden quedar atrapados en la capa vegetal. Se sugiere entonces que el diseño contemple la entrada de agua exclusivamente por precipitación directa sobre su área. Con esto se reduce la cantidad de agua que debe evacuarse a través del sistema de drenaje.

Por otro lado, ante la posibilidad que los vehículos que hacen uso de las rampas podrían derramar líquidos en la cama de frenado, ya sea como parte de la carga que transportan o debido a la ruptura de alguna pieza de la carrocería, este vertido de líquidos peligrosos puede resultar en la contaminación del suelo, mantos acuíferos etc. Por esta razón, se recomienda colocar una capa aislante entre el suelo natural y la cama de frenado.

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2022), “Es importante mencionar que la elección del material para la cama de frenado influye directamente en la capacidad de desalojar el agua” (p. 48).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo documental, ya que se recopilará la información relevante de investigaciones relacionadas con el tema y de las normas internacionales, tales como: AASTHO 2011, MTC 2017, Norma Oficial Mexicana 2022. También se empleará la investigación aplicada porque se utilizarán los conocimientos teóricos establecidos en la normativa internacional y nacional para el correcto diseño de los elementos de la rampa de frenado.

#### **3.2. Método**

Para el proyecto técnico se consideró el método analítico, puesto que este se basa en la aplicación de principios teóricos y modelos matemáticos para analizar y resolver problemas, en la investigación implicaría el uso de ecuaciones proporcionadas por la norma AASTHO 2011, para determinar las características y dimensiones adecuadas de la rampa de frenado.

#### **3.3. Técnica para recoger información**

Según Hernández & Duana (2020), “Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación” (p. 1). Las técnicas que se usarán en el proyecto técnico serán las siguientes:

##### **3.3.1. Observación**

Es un procedimiento metodológico y regulado que permite la recolección de información durante la realización de una investigación (Gil, 2011).

Esta técnica se aplicará en las visitas a campo de los puntos críticos, en los recorridos que se hagan del tramo estudiado, en el conteo vehicular y en la determinación

de la velocidad promedio. La finalidad es obtener información válida y confiable para la investigación que realizaremos.

### **3.3.2. Análisis de documentos**

Una investigación se fundamenta en el análisis de documentos, el cual integra la base principal. Es esencial para colocar la investigación en el contexto pertinente. Además, se considera el primer paso a tomar después de plantear el problema (Gil, 2011).

Para la investigación se tomará en cuenta la bibliografía digital de las normas internacionales relacionadas con el tema y los estudios de seguridad vial realizados en la vía. Además, se utilizarán los datos proporcionados por la ANT para conocer las cifras de accidentes de tránsito ocurridos en la zona. Con la finalidad de desarrollar una metodología que permita organizar y planificar actividades para así poder cumplir con los objetivos propuestos.

### **3.4. Proceso Técnico de Ingeniería Civil**

Para cumplir con los objetivos propuestos de la investigación se realizarán los siguientes procesos:

#### **3.4.1. Recopilación estadística y bibliografía**

Se realizará la recopilación estadística de los accidentes de tránsito ocurridos en la Avenida Simón Bolívar mediante la descarga de la información desde la página web oficial de la agencia nacional de tránsito. La bibliografía se obtendrá desde las páginas webs oficiales del país que emitió la normativa y si se trata de tesis o artículos académicos, estos se obtendrán desde el repositorio de la universidad en donde se haya publicado la tesis o de la revista académica en donde se haya publicado el artículo.

### **3.4.2. Visita de campo**

Concertar visitas para conocer las condiciones y topografía del tramo investigado en la Avenida Simón Bolívar y determinar cuáles son los puntos críticos, así como también su ubicación.

### **3.4.3. Estudio de tráfico**

Con el estudio de tránsito se obtendrá información sobre las condiciones actuales del tráfico para desarrollar diversas alternativas de diseño que permitan mejorar su rendimiento, brindando mayor comodidad y seguridad a los usuarios.

#### **3.4.3.1. Conteo Vehicular**

Se realizará el conteo para estimar el volumen de tránsito diario y la participación de los vehículos pesados en la Avenida Simón Bolívar.

### **3.4.4. Determinar la Ubicación de la rampa de frenado**

Establecer mediante los resultados que se van obteniendo de la investigación el lugar idóneo para la ubicación física de la rampa de frenado.

### **3.4.5. Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico permite identificar el sitio, analizando las condiciones topográficas del terreno en donde se implementará la rampa de frenado. Las secciones transversales y el perfil del terreno natural, obtenidos del levantamiento, se utilizaron como referencia para llevar a cabo el diseño geométrico de la rampa de frenado.

### **3.4.6. Diseño Geométrico de la Rampa de Frenado**

La normativa internacional establecerá los parámetros para el diseño geométrico, que se ajustarán a los requisitos del usuario en función de los resultados de la investigación y las características del tramo de estudio.

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO DE TRÁFICO

#### 4.1. Antecedentes

El estudio de tráfico proporciona información relevante la cual permite identificar los días y horas en donde se tendrá una mayor cantidad de flujo vehicular circulando por la carretera, además con los datos recolectados determinaremos el tráfico actual, en donde se clasifican los tipos de vehículos y de la cual se puede realizar una proyección futura de la cantidad de autos que circularán en la carretera.

#### 4.2. Estaciones de conteo

Una estación de conteo es un lugar donde se ubica el aforador para contar los vehículos que circulan por la vía. Estas estaciones deben tener características favorables, la más importante es la visibilidad para poder contar de manera precisa los vehículos. En este caso, se ubicaron dos estaciones de conteo de vehículos, las cuales se ubicaron de la siguiente manera:

**Tabla 3**

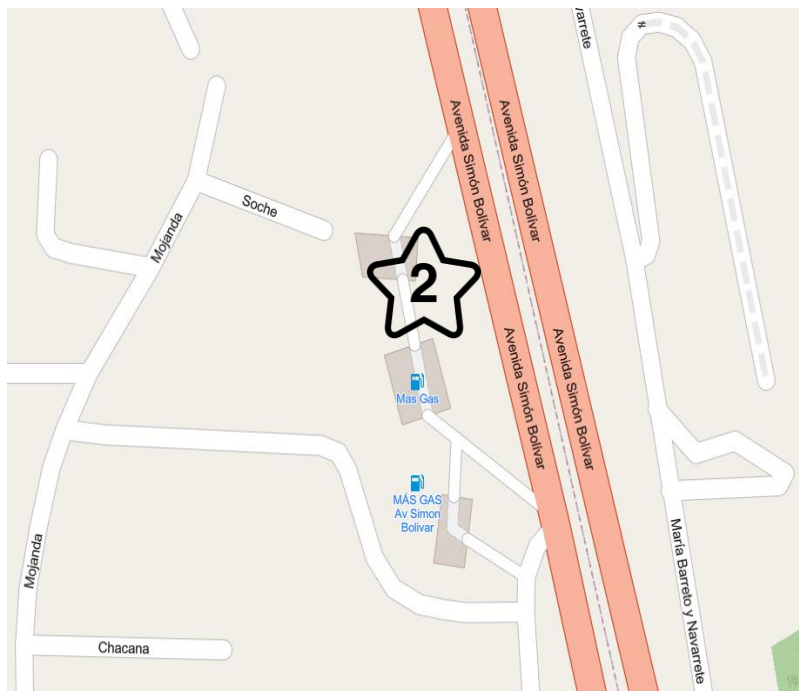
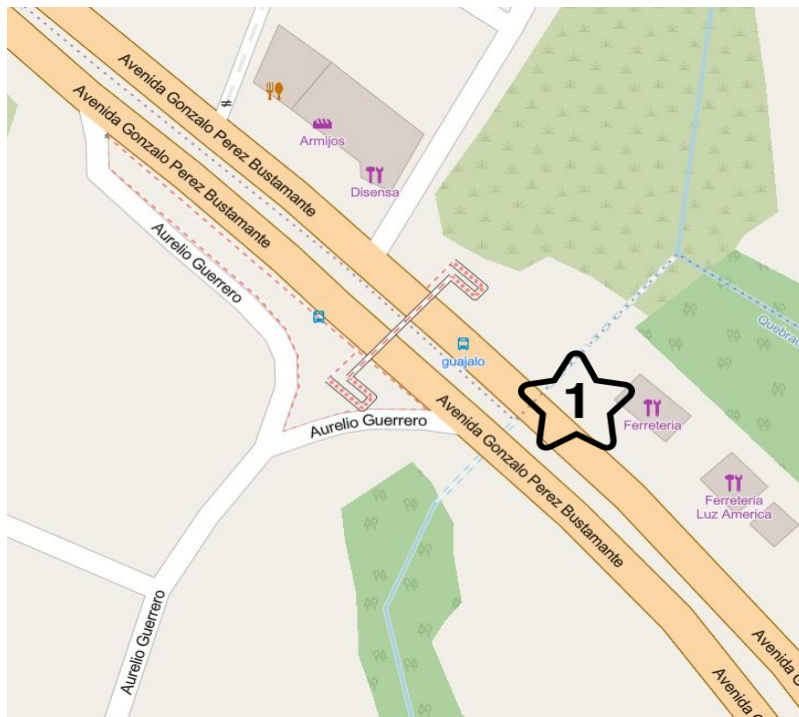
*Ubicación de las estaciones para realizar el conteo manual*

<b>ESTACIÓN</b>	<b>FECHA INICIO</b>	<b>FECHA FIN</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>SENTIDO</b>
1	9/11/2023	9/17/2023	Av. Gonzalo Pérez Bustamante y Calle Aurelio Guerrero	Norte- Sur
2	9/18/2023	9/24/2023	Av. Simón Bolívar, sector Triángulo de Piedra (Estación de Gasolina ‘‘Más Gas’’)	Sur-Norte

*Nota.* Se presenta la fecha, el sentido y la ubicación de cada una de las estaciones en las cuales se realizó el conteo manual. Elaborado por: El Autor.

**Figura 26**

*Ubicación de las estaciones en donde se realizaron los conteos manuales*



*Nota.* Se representan las 2 estaciones de conteo utilizadas para el proyecto, 2023.



### 4.3. Conteo Vehicular

Según la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras (2003), “Para un estudio definitivo, se debe tener por lo menos un conteo manual de 7 días seguidos en una semana que no esté afectada por eventos especiales” (p. 13).

Este conteo se llevó a cabo en las fechas y estaciones antes mencionadas, para realizarlo fue necesario el apoyo de 4 personas divididas en grupos de 2, todo esto con el fin de obtener datos confiables para el proyecto. El horario de los conteos fue de 07:00 a 13:00 para el primer grupo y de 13:00 a 19:00 para el segundo grupo, en intervalos de 15 minutos.

Debido a que en la Avenida Simón Bolívar la afluencia vehicular es alta y al ser una vía en donde los vehículos circulan con velocidades relativamente altas, realizar el conteo manual se vuelve un tema complejo, por tanto, se hizo uso de aplicaciones tecnológicas las cuales facilitaron el trabajo realizado en campo.

#### Figura 27






*Aplicación “Contador”*



*Nota.* Aplicación utilizada para facilitar la realización de los conteos manuales. Elaborado por: El Autor.

**Figura 28**

*Formato de registro de conteo vehicular manual*

CONTEO VEHICULAR								
FECHA:							LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN (GRÁFICO)	
ESTACIÓN No.:								
SENTIDO:								
UBICACIÓN:								
DESCRIPCIÓN:								
RESPONSABLES:								
HORA	INTERVALO	TIPOS DE VEHICULOS					TOTAL / 15 min	TOTAL HORA
		LIVIANOS 	BUSES 	CAMIONES DE 2 EJES 	CAMIONES DE 3 EJES 	TRACTO CAMIONES 		
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15							
	7:15 - 7:30							
	7:30 - 7:45							
	7:45 - 8:00							
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15							
	8:15 - 8:30							
	8:30 - 8:45							
	8:45 - 9:00							
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15							
	9:15 - 9:30							
	9:30 - 9:45							
	9:45 - 10:00							
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15							
	10:15 - 10:30							
	10:30 - 10:45							
	10:45 - 11:00							
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15							
	11:15 - 11:30							
	11:30 - 11:45							
	11:45 - 12:00							
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15							
	12:15 - 12:30							
	12:30 - 12:45							
	12:45 - 13:00							
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15							
	13:15 - 13:30							
	13:30 - 13:45							
	13:45 - 14:00							
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15							
	14:15 - 14:30							
	14:30 - 14:45							
	14:45 - 15:00							
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15							
	15:15 - 15:30							
	15:30 - 15:45							
	15:45 - 16:00							
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15							
	16:15 - 16:30							
	16:30 - 16:45							
	16:45 - 17:00							
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15							
	17:15 - 17:30							
	17:30 - 17:45							
	17:45 - 18:00							
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15							
	18:15 - 18:30							
	18:30 - 18:45							
	18:45 - 19:00							

Nota. Formato en el cual se registraron los vehículos que transitaron por las estaciones antes mencionadas. Elaborado por: El Autor.


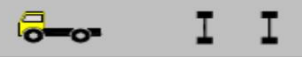

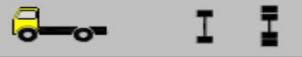


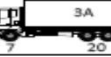

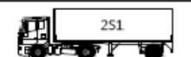

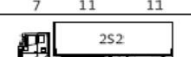

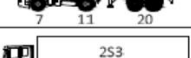



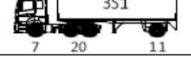

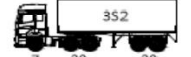

#### 4.4. Clasificación por tipo de vehículos

Los diferentes tipos de vehículos que circulan por la avenida Simón Bolívar se clasifican en función a la Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones. Haciendo uso de la

tabla antes mencionada y con la información obtenida del conteo manual se establece que los tipos de vehículos que transitan por la vía son los siguientes: vehículos livianos, buses (transporte público, escolares y busetas), camiones de 2 ejes, camiones de 3 ejes, tractocamiones de 2 y 3 ejes.

**Figura 29**

*Tabla nacional de pesos y dimensiones*

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30

*Nota.* Clasificación de los vehículos conforme a lo observado mientras se realizaron los conteos manuales. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado el conteo manual durante 7 días continuos en un lapso de 12 horas ininterrumpidas en cada una de las estaciones.

**Tabla 4***Resumen del conteo manual de la estación No.1*

TIPOS DE VEHÍCULOS	Conteo Manual Estación No.1							TOTAL
	Dia							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
LIVIANOS	28556	25137	24937	24732	28426	24094	23416	179298
BUSES	2113	2138	2102	2142	2297	1644	1496	13932
CAMIONES DE 2 EJES	2422	2532	2545	2602	2615	719	645	14080
CAMIONES DE 3 EJES	1319	1194	1132	1094	1044	714	616	7113
TRACTO CAMIONES	668	571	546	542	486	355	239	3407
<b>TOTAL</b>	<b>35078</b>	<b>31572</b>	<b>31262</b>	<b>31112</b>	<b>34868</b>	<b>27526</b>	<b>26412</b>	<b>217830</b>

**Tabla 5***Resumen del conteo manual de la estación No.2*

TIPOS DE VEHÍCULOS	Conteo Manual Estación No.2							TOTAL
	Dia							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
LIVIANOS	22805	18659	18302	19516	21928	17668	15272	134150
BUSES	1551	1486	1432	1514	1580	1173	888	9624
CAMIONES DE 2 EJES	1490	1346	1423	1454	1899	1149	1002	9763
CAMIONES DE 3 EJES	1869	1685	1773	1907	2021	782	656	10693
TRACTO CAMIONES	634	610	613	551	438	367	306	3519
<b>TOTAL</b>	<b>28349</b>	<b>23786</b>	<b>23543</b>	<b>24942</b>	<b>27866</b>	<b>21139</b>	<b>18124</b>	<b>167749</b>

*Nota.* Resultados del conteo que tuvo una duración total de 7 días en cada una de las estaciones. Elaborado por: El Autor.

**Tabla 6***Tráfico total*

TIPOS DE VEHÍCULOS	Tráfico Total							TOTAL
	Dia							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
LIVIANOS	51361	43796	43239	44248	50354	41762	38688	313448
BUSES	3664	3624	3534	3656	3877	2817	2384	23556
CAMIONES DE 2 EJES	3912	3878	3968	4056	4514	1868	1647	23843
CAMIONES DE 3 EJES	3188	2879	2905	3001	3065	1496	1272	17806
TRACTO CAMIONES	1302	1181	1159	1093	924	722	545	6926
<b>TOTAL</b>	<b>63427</b>	<b>55358</b>	<b>54805</b>	<b>56054</b>	<b>62734</b>	<b>48665</b>	<b>44536</b>	<b>385579</b>

*Nota.* Se presenta el tráfico total tomando en cuenta el sentido Norte-Sur y Sur-Norte.  
Elaborado por: El Autor.

#### 4.5. Determinación del tráfico promedio diario anual (TPDA)

“La unidad de medida en el tráfico de una carretera es el volumen del tráfico promedio diario anual, cuya abreviación es el TPDA” (Normas de Diseño Geométrico, 2003, p. 11). Para llegar a determinar el Tráfico Promedio Diario Actual o TPDA, se requiere de varios factores de ajuste, estos son: factor horario, factor diario, factor semanal, factor mensual.

Con la siguiente expresión se calculará el TPDA.

$$TPDA = TPDS * Fh * Fd * Fs * Fm$$

Donde:

TPDS= Es el tráfico promedio diario semanal observado, que se obtuvo a partir de los conteos manuales que tuvieron una duración de 7 días consecutivos.

FH = Factor de ajuste horario, nos permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a volumen diario promedio.

Fd = Factor de ajuste diario, transforma el volumen de tráfico diario promedio en volumen semanal promedio.

Fs. = Factor de ajuste semanal, transforma el volumen semanal promedio de tráfico en volumen mensual promedio.

Fm= Factor de ajuste mensual, transforma el volumen mensual promedio de tráfico en tráfico promedio diario anual (TPDA).

#### 4.5.1. Factor Horario

El conteo manual para el actual estudio se realizó en horas de la mañana y tarde con una duración total de 12 horas, por ende, el tráfico nocturno no se estaría considerando, el objetivo del factor horario es llevar el conteo manual de 12 horas a 24 horas para que así se tenga una información completa del tráfico total que circula en los tramos analizados.

Este factor horario fluctúa entre 1.10 a 1.40, considerando que la vía del proyecto es del alto tráfico y considerando que el tráfico nocturno es relativamente bajo, se ha considerado un factor horario de Fh=1.30.

#### 4.5.2. Factor Diario

El objetivo de este factor es convertir el tránsito diario en tránsito semanal, a partir de la siguiente expresión:

$$Fd = \frac{\textit{Promedio Diario Semanal de Vehículos}}{\textit{Número de vehículos por cada día}}$$

A continuación, se presenta el ejemplo de cálculo, para lo cual se tomará en cuenta el conteo manual del lunes de la estación No.1:

$$Fd = \frac{\textit{Promedio Diario Semanal de Vehiculos}}{\textit{Número de vehículos que transitaron el día Lunes}}$$

$$Fd = \frac{31119}{35078} = 0.8871$$

**Tabla 7***Valores del factor de ajuste diario*

<b>Día</b>	<b>Total, de Vehículos</b>	<b>Fd</b>
Lunes	35078	0.8871
Martes	31572	0.9856
Miércoles	31262	0.9954
Jueves	31112	1.0002
Viernes	34868	0.8925
Sábado	27526	1.1305
Domingo	26412	1.1782
<b>Promedio</b>	<b>31119</b>	<b>1.0099</b>

*Nota.* Se presentan los valores del factor de ajuste diario para cada día de la semana, tomando en cuenta los resultados de la estación No.1. Elaborado por: El Autor.

**Tabla 8***Valores del factor de ajuste diario*

<b>Día</b>	<b>Total, de Vehículos</b>	<b>Fd</b>
Lunes	28349	0.8453
Martes	23786	1.0075
Miércoles	23543	1.0179
Jueves	24942	0.9608
Viernes	27866	0.8600
Sábado	21139	1.1336
Domingo	18124	1.3222
<b>Promedio</b>	<b>23964</b>	<b>1.0211</b>

*Nota.* Se presentan los valores del factor de ajuste diario para cada día de la semana, tomando en cuenta los resultados de la estación No.2. Elaborado por: El Autor.

#### **4.5.3. Factor Semanal**

En este caso el valor del factor semanal será de 1, ya que el conteo manual sí se lo realizo los 7 días de la semana.

$$F_s = 1$$

#### 4.5.4. Factor Mensual

El cálculo de este factor se lo realiza a partir del consumo de combustible de la provincia Pichincha y tomando en cuenta el mes en que se realizaron los conteos ya sean manuales o automáticos. La información fue proporcionada por la secretaria de movilidad del DMQ en el año 2017. Para la provincia de Pichincha el factor mensual del mes de septiembre es de 0.9555.

$$Fm = 0.9555$$

**Tabla 9**

*Valores del factor de ajuste mensual*

<b>Mes</b>	<b>Factor Mensual</b>
Enero	1.0509
Febrero	1.0743
Marzo	1.0854
Abril	1.0084
Mayo	0.9732
Junio	0.9958
Julio	1.0215
Agosto	0.9625
Septiembre	0.9555
Octubre	0.9640
Noviembre	0.9440
Diciembre	0.9440

*Nota.* Los factores fueron proporcionados por la secretaria de movilidad del DMQ. Elaborado por: El Autor.

#### 4.5.5. Tráfico promedio diario semanal

Es el número total de vehículos que circulan en la vía durante una semana, se lo obtiene dividiendo el sumatorio total del tránsito de una semana para los 7 días de la semana. Para hallar el TPDS (Tráfico promedio diario semanal) se utilizará la siguiente expresión:

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$



Donde:

TS: Tránsito total semanal.

A continuación, se presenta el ejemplo de cálculo, para lo cual se tomará en cuenta el total de vehículos que circularon durante la semana por la estación 1:

$$TPDS_{(ESTACIÓN\ 1)} = \frac{217830}{7} = 31119$$

Una vez hallado el TPDS y los distintos factores de ajuste es posible calcular el TPDA de cada estación, a continuación, se presenta el respectivo ejemplo de cálculo:

$$TPDA_{(ESTACIÓN\ 1)} = TPDS_{(ESTACIÓN\ 1)} * Fh * Fd * Fs * Fm$$

$$TPDA_{(ESTACIÓN\ 1)} = 31119 * 1.3 * 1.0099 * 1 * 0.9555 = 39038$$

**Tabla 10**

*Valores de TPDA del año 2023*

ESTACIÓN	FECHA INICIO	FECHA FIN	UBICACIÓN	SENTIDO	TPDS	FH	FD	FM	TPDA
1	9/11/2023	9/17/2023	Av. Gonzalo Pérez Bustamante y Calle Aurelio Guerrero	Norte- Sur	31119	1.3	1.0099	0.9555	39038
2	9/18/2023	9/24/2023	Av. Simón Bolívar, sector Triángulo de Piedra (Estación de Gasolina ‘Más Gas’)	Sur-Norte	23964	1.3	1.0211	0.9555	30394

*Nota.* Resumen de los valores de TPDA para cada estación obtenidos a partir de los conteos vehiculares manuales. Elaborado por: El Autor.

#### 4.5.6. Proyección del TPDA

La proyección del TPDA nos permite clasificar la carretera y contribuye en determinar cuál es la velocidad de diseño de la vía, estos datos son importantes, ya que nos servirán para determinar la necesidad, ubicación de la rampa de frenado en el

proyecto, así como también para tener noción del comportamiento del tráfico en el futuro.

Para hallar el TPDA proyectado o futuro se utilizará la siguiente expresión:

$$TPDA \text{ proyectado} = TPDA * (1 + i)^n$$

Donde:

n: Número de años que se va a proyectar el volumen de tráfico

i: Índice o tasa de crecimiento vehicular

TPDA: Tráfico promedio diario anual

#### 4.5.7. Tasa de crecimiento vehicular

La proyección del tráfico utiliza el método de crecimiento lineal en el cual interviene la tasa del crecimiento vehicular y el tránsito que actualmente circula en la carretera, en este caso se realizara una proyección para un periodo de 15 años, la tasa de crecimiento vehicular fue proporcionada por el GAD de Pichincha.

**Tabla 11**

*Tasas de crecimiento vehicular para la provincia de Pichincha*

<b>PERIODO</b>	<b>LIVIANOS</b>	<b>BUSES</b>	<b>CAMIONES</b>
2021-2025	3.81	1.88	2.09
2026-2030	3.2	1.81	1.9
2031-2035	2.8	1.75	1.75
2036-2040	1.99	1.74	1.51

*Nota.* Índices de crecimiento vehicular para cada uno de los tipos de vehículos hasta el año 2040. Fuente: GAD de Pichincha, 2014.

A continuación, se presenta los resultados de la proyección del tráfico para un periodo de 10 y 15 años:

**Tabla 12***Proyección del tráfico para el año 2033 y 2038*

AÑO	SENTIDO N-S				SENTIDO S-N				TOTAL 2 SENTIDOS
	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	TOTAL	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	TOTAL	
2023	32133	2497	4409	39038	24306	1744	4344	30394	69432
2024	33357	2544	4501	40401	25232	1777	4435	31443	71845
2025	34628	2592	4595	41814	26193	1810	4527	32531	74345
2026	35736	2638	4682	43057	27032	1843	4613	33488	76544
2027	36879	2686	4771	44337	27897	1876	4701	34474	78810
2028	38060	2735	4862	45656	28789	1910	4790	35490	81146
2029	39277	2784	4954	47016	29711	1945	4881	36537	83553
2030	40534	2835	5048	48417	30661	1980	4974	37615	86033
2031	41669	2884	5137	49690	31520	2014	5061	38595	88286
2032	42836	2935	5227	50997	32402	2050	5150	39602	90599
2033	44035	2986	5318	52340	33310	2086	5240	40635	92975
2034	45268	3038	5411	53718	34242	2122	5332	41696	95414
2035	46536	3092	5506	55133	35201	2159	5425	42785	97918
2036	47462	3145	5589	56196	35902	2197	5507	43605	99801
2037	48407	3200	5673	57280	36616	2235	5590	44441	101721
2038	49370	3256	5759	58385	37345	2274	5674	45293	103677

*Nota.* Se presenta la proyección del tráfico total para el tramo de estudio. Elaborado por: El Autor.

#### **4.6. Tráfico Proyectado Incrementado**

Teniendo el tráfico proyectado se debe realizar el incremento de tráfico por razón de Tráfico Generado (TG), Tráfico Desarrollado (TD) y Tráfico Desviado (Td); estos tipos de tráfico se incrementan con un porcentaje el cual viene dado por la norma AASTHO.

##### **4.6.1. Tráfico Generado**

El tráfico generado es el aumento del volumen vehicular que resulta por el desarrollo socioeconómico de la zona de influencia. Además, el MTOP expresa que el tráfico generado está constituido por los números de viajes que se efectuarán únicamente si las mejoras propuestas ocurren. La MTOP ha propuesto un incremento por tráfico generado máximo de 20% porque no existe un estudio específico sobre el

comportamiento del tráfico generado en el país. El porcentaje asumido para el proyecto es de 5%.

#### **4.6.2. Tráfico Desviado**

Según Bravo y Guevara (2022), “Este tráfico hace referencia a aquel que es atraído desde diferentes carreteras una vez que el nuevo proyecto entra en funcionamiento”. De acuerdo con las directrices de la AASHTO para el diseño de carreteras, se sugiere que el tráfico desviado represente entre el 5% y el 8% del flujo vehicular actual. Por esta razón, en el desarrollo del proyecto se ha optado por utilizar un valor del 5%, ya que a lo largo del tramo de estudio existen pocas vías secundarias que atraigan un tráfico considerable, por lo tanto, existe un volumen de tráfico adicional que se debe incorporar.

#### **4.6.3. Tráfico Desarrollado**

Según Bravo y Guevara (2022), “El tráfico desarrollado se define como un porcentaje extra de tráfico debido al crecimiento de la zona de implantación, ya que produce que nuevos usuarios transiten por dicha carretera”.

Es importante considerar que hacer proyecciones de tráfico exclusivamente basadas en datos históricos puede resultar en estimaciones poco precisas. Esto se debe a que cualquier cambio significativo en la zona de implementación puede generar variaciones en el flujo vehicular de la carretera. Por esta razón, se aconseja revisar los planes de desarrollo local antes de elegir un parámetro que influya en la cantidad de tráfico en la zona.

Para el proyecto se tomará un 5% como porcentaje del tráfico desarrollado, ya los sectores que rodean a la avenida Simón Bolívar ya se encuentran en desarrollo.

#### **4.7. Asignación de Tráfico**

Con los porcentajes determinados anteriormente se procede a calcular el TPDA final o de diseño a partir de la siguiente expresión:

$$TPDA \text{ final} = TPDA \text{ proyectado} + TPDA \text{ generado} + TPDA \text{ desarrollado} + TPDA \text{ desv}$$

**Tabla 13**

*TPDA final para un periodo de 10 y 20 años*

<b>AÑO</b>	<b>TPDA proyectado</b>	<b>TG 5%</b>	<b>TD 5%</b>	<b>Td 5%</b>	<b>TPDA final</b>
2023	69432	3472	3472	3472	79847
2024	71845	3592	3592	3592	82621
2025	74345	3717	3717	3717	85497
2026	76544	3827	3827	3827	88026
2027	78810	3941	3941	3941	90632
2028	81146	4057	4057	4057	93318
2029	83553	4178	4178	4178	96085
2030	86033	4302	4302	4302	98937
2031	88286	4414	4414	4414	101529
2032	90599	4530	4530	4530	104189
2033	92975	4649	4649	4649	106921
2034	95414	4771	4771	4771	109726
2035	97918	4896	4896	4896	112606
2036	99801	4990	4990	4990	114772
2037	101721	5086	5086	5086	116979
2038	103677	5184	5184	5184	119229

*Nota.* TPDA final agregado los distintos factores de tráfico para el proyecto. Elaborado por: El Autor.

#### **4.8. Clasificación de la vía en función del TPDA final**

Las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras recomiendan que la clasificación de la vía debe basarse en los pronósticos de tráfico durante un periodo 15 o 20 años. Luego del análisis del tráfico vehicular, se determinó un TPDA final de 106921 y 119229 vehículos para un periodo de 10 años y 20 años respectivamente.

Con los resultados se establece que la vía del proyecto está considerada como Autopista con una clasificación funcional tipo AP2 de acuerdo con la Norma Ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP.

**Figura 30**

*Clasificación funcional de las vías*

<b>Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA<sub>d</sub></b>			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA <sub>d</sub> ) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

*Nota.* Se presenta la clasificación de vías según el TPDA<sub>d</sub>. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013.

#### **4.9. Tipo de Terreno**

Según Proaño (2017), “Los valores de pendiente longitudinal dependen del tipo de terreno que se encuentre la Avenida Simón Bolívar; teniendo valores de 4,5 y 7 % dependiendo del terreno donde corresponda” (p.161). Para los tramos analizados en este proyecto se determinó que el terreno es montañoso debido a que debemos considerar la condición más crítica para el diseño de la rampa de frenado.

Además, es importante destacar que la Avenida Simón Bolívar está compuesta por segmentos rectos que no superan los 5 kilómetros, siendo en su mayoría una vía con una sinuosidad ondulada.

#### **4.10. Velocidad**

En el campo de la ingeniería del tráfico, la determinación y conocimiento de las velocidades influye en cuanto al diagnóstico y evaluación de los llamados flujos del tránsito, y están por obvias razones vinculadas con los vehículos y el tráfico, por este motivo es que en los estudios de velocidades al menos se debe identificar

la velocidad de diseño, circulación, de operación y la de viaje o recorrido. (Bermeo y Picuasi, 2019, p.76)

#### 4.10.1. Velocidad del Proyecto

Es la velocidad máxima permitida para que los vehículos circulen con normalidad y de manera segura, se establece considerando la topografía, la geometría de la vía y el flujo de tráfico en ese tramo específico.

**Tabla 14**

*Velocidades de diseño en función del tipo de terreno y TPDA*

CATEGORÍA DE LA VÍA	TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h											
		BÁSICA						PERMISIBLE EN TRAMOS DIFÍCILES					
		Relieve Llano			Relieve Ondulado			Relieve Montañoso					
		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad			
		Recom.	Absoluta	Recom.	Absoluta	Recom.	Absoluta	Recom.	Absoluta	Recom.	Absoluta	Recom.	Absoluta
R-I ó R-II (Tipo)	> 8000	120	110	100	95	110	90	95	85	90	80	90	80
I Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	60	80	60
II Todos	1000-3000	100	90	90	85	90	80	85	80	70	50	70	50
III Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV Tipo 5, 5E, 6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V 4 y 4E	< 100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	40	25

*Nota.* Se presenta la velocidad de diseño del proyecto de 90 km/h. Fuente: Normas de diseño geométrico de carreteras, 2003, pág. 31.

“La velocidad máxima contemplada para su diseño es de 90 km/hora para vehículos livianos y 70 km/hora para vehículos pesados en tramos seguros, 70 y 50 km/hora, respectivamente, en curvas peligrosas y 30 km/hora en zonas habitadas y/o escolares” (Según datos de Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas EPMMOP, 2015a, pág.2).

#### 4.10.2. Velocidad de Circulación

“La velocidad de circulación es la velocidad real de un vehículo a lo largo de una sección específica de carretera y es igual a la distancia recorrida dividida para el tiempo de circulación del vehículo” (Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003, pág. 30).

La normativa MOP-2003 propone velocidades de circulación en función a la velocidad de diseño, estos se presentan a continuación:

**Tabla 15***Velocidades de circulación*

VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN EN Km/h		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO BAJO	VOLUMEN DE TRÁNSITO INTERMEDIO	VOLUMEN DE TRÁNSITO ALTO
25	24	23	22
30	28	27	26
35	33	31	30
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	78	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

*Nota.* Se presentan la relación entre la velocidad de diseño y la velocidad de circulación.  
Fuente: Normas de diseño geométrico de carreteras, 2003, pág. 32.

#### **4.10.3. Determinación de la Velocidad de circulación**

Para determinar la velocidad de circulación del proyecto, el método empleado fue el de la velocidad instantánea o de punto, este método consiste en determinar la velocidad con la que cruza un vehículo por un punto fijo de la vía. Para determinar esta velocidad se utilizó un vehículo de prueba que realizó un total de 5 recorridos por un punto específico del proyecto y en cada sentido de la vía, en donde se registraron los siguientes valores:



**Tabla 16***Velocidades de circulación determinada en campo*

<b>UBICACIÓN</b>	<b>SENTIDO</b>	<b>VELOCIDAD INSTANTÁNEA</b>	<b>VELOCIDAD MEDIA</b>
Avenida Simón Bolívar y Calle Ricardo Izurieta del Castillo	Norte-Sur	62	62.8
		60	
		68	
		56	
		68	
Calle Ricardo Izurieta del Castillo	Sur-Norte	70	66.8
		65	
		68	
		66	
		65	

*Nota.* Se presentan los valores de velocidad en cada sentido en un punto específico del proyecto. Elaborado por: El autor.

## **CAPÍTULO V**

### **NECESIDAD Y UBICACIÓN**

#### **5.1. Antecedentes**

Respecto a la explicación del por qué es necesaria y dónde debe ubicarse la rampa, la AASHTO proporciona únicamente algunas sugerencias, una de las más importantes hace referencia a la necesidad de una rampa de frenado en situaciones donde hay evidencia o signos de que se están produciendo incidentes vinculados al recalentamiento del sistema de frenos en los vehículos.

Con respecto a la ubicación de la rampa de frenado, se menciona que debe ser situada previo a zonas que se encuentren habitadas y que se deben colocar al lado derecho de la calzada.

Uno de los primeros esfuerzos para establecer un método del cálculo debidamente justificado fue propuesto en Chile por el autor Echaveguren en el año 2007.

Con el pasar del tiempo se han presentado diversas investigaciones las cuales han perfeccionó el método chileno y han resuelto las limitaciones de este. El procedimiento llevado a cabo en el proyecto se basa en el estudio realizado en Ecuador (García-Ramírez, 2022), este utiliza el nuevo modelo GSRS que sirve como una base teórica y de fácil aplicación.

#### **5.2. Sistema de calificación de peligrosidad de la pendiente (GSRS)**

El Sistema de calificación de peligrosidad de la pendiente fue desarrollado en 1974 por la FTWA, pero ante los constantes cambios y mejoras de los camiones fue actualizado en el año 2020, las constantes del modelo fue la principal modificación del procedimiento.

El modelo considera el peso bruto del camión junto a su rendimiento, el porcentaje de descenso de pendiente y la longitud de frenado del camión para recomendar

velocidades de descenso seguras. El GSRS asume una velocidad de descenso constante, la potencia de retardo del motor se mantiene cerca del máximo permitido para el motor, y la presencia de un camión de cinco ejes, como vehículo tipo. (García-Ramírez, 2022, p. 2)

El vehículo que se ha utilizado en el modelo es un Kenworth T680 Series, cuyo peso bruto es de 36287 kilogramos este es un dato con el que se debe contar al momento de realizar los cálculos y también hay que considerar que el camión no debe contar con retardadores de frenado, ya que es el diseño debe contemplar la condición más desfavorable. El GSRS se fundamenta en la temperatura de frenado, según se ilustra en la ecuación:

$$T_f = T_0 + [T_\infty - T_0 + k_2 * HP_B][1 - e^{\frac{-k_1 * L}{V}}]$$

Donde:

$T_f$  = temperatura del sistema de frenos en la parte inferior de la pendiente, resultado de circular por ella a una velocidad constante (°F)

$T_0$  = temperatura inicial del freno (150 °F)

$T_\infty$  = temperatura ambiente, y en ausencia de valores medidos, se puede utilizar 90 °F

$k_1$  = constante de calibración por difusividad ( $h^{-1}$ )

$k_2$  = constante de calibración por transferencia de calor (°F/hp)

$HP_B$  = potencia del sistema de frenos (hp),

$L$  = longitud de la pendiente (mi)

$V$  = velocidad máxima de descenso seguro (mi/h).

La ecuación del modelo posibilita determinar la velocidad máxima segura para descender una pendiente asegurándose que la temperatura límite o  $T_{lím}$  no supere los 500 °F. Es posible resolver la ecuación mediante despeje o mediante un proceso de prueba y error (tanteo).

El GSRS se ajustó con el fin de garantizar que conservara la capacidad de frenado necesaria para realizar una parada de emergencia al final de la pendiente, sin superar una temperatura máxima de 500 °F. La temperatura máxima permitida se determina con la siguiente ecuación:

$$T_{lim} = T_f + T_E$$

$$500 = T_f + T_E$$

Donde:

$T_{lim}$  = máxima temperatura del sistema de frenos, la cual no debe exceder de 500 °F (°F)

$T_f$  = aumento de temperatura debido al descenso de la pendiente (°F)

$T_E$  = aumento de temperatura debido a una parada de emergencia (° F)

El aumento de temperatura  $T_E$ , la difusividad, la transferencia de calor y la potencia del sistema de frenos se calculan con las siguientes ecuaciones las cuales están previamente determinadas en los estudios antes mencionados.

Aumento de temperatura debido a una parada de emergencia

$$T_E = 3.11 \times 10^{-7} * W * V^2$$

Donde:

W = peso bruto del vehículo (lb)

V = velocidad máxima de descenso seguro (mi/h).

Difusividad

$$k_1 = 1.5 * (1.1852 + 0.0331 * V)$$

Constante de calibración por transferencia de calor

$$k_2 = \frac{1}{0.1602 + 0.0078 * V}$$

Potencia del sistema de frenos (hp)

$$HP_B = (W * \theta - F_{drag}) * \frac{V}{375} - HP_{eng}$$

Donde W = peso bruto del vehículo (lb)

$\theta$  = inclinación de la pendiente (decimal)

Fdrag = fuerza de arrastre (lb)

HPeng = potencia de frenado del motor igual a 63,3 hp.

La fuerza de arrastre se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_{drag} = 459.35 + 0.132 * V^2$$

### **5.3. Procedimiento**

#### **5.3.1. Análisis de la necesidad**

Para valorar la necesidad de la rampa de escape, se necesita comparar la velocidad máxima de descenso seguro con la velocidad de operación del camión de diseño.

Para hallar la velocidad segura de descenso se realizan tanteos ajustando la velocidad hasta acercarse al límite térmico de 500 °F. “En ningún caso, se puede exceder esa temperatura, ya que, si sucede eso, significa una alta probabilidad de sobrecalentamiento y su consecuente pérdida de control” (García-Ramírez, 2022, p.2). La velocidad segura de descenso para el proyecto deberá estar ligada con la velocidad de circulación máxima hallada en el capítulo 4.

Luego, es necesario estimar la velocidad de operación, para lo cual en Ecuador se puede emplear las ecuaciones de predicción diseñadas para carreteras de dos carriles. Si la velocidad de operación supera a la velocidad máxima para un descenso seguro, se hace necesario construir una rampa de frenado.

**Tabla 17***Ecuaciones de predicción de la velocidad de operación*

<b>G (%)</b>	<b>Ecuación de predicción</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Rango de L (m)</b>
6 a 10 %	$V_{85} = 69,69$	*	22 - 260
4 a 5,99%	$V_{85} = 0,03L+69,52$	0,29	22 - 392
0 a 3,99%	$V_{85} = 0,04L+73,69$	0,37	22 - 435
-3,99 a 0%	$V_{85} = 0,05L+73,65$	0,50	22 - 435
-5,99 a -4%	$V_{85} = 0,04L+72,68$	0,47	22 - 392
-10 a -6%	$V_{85} = 0,07L+66,09$	0,41	22 - 433

$V_{85}$  = velocidad de operación en la entre tangencia horizontal en km/h, G = pendiente longitudinal de la carretera, L = longitud de la entre tangencia horizontal, \* = no es posible de calcular dado que es una ecuación constante, R2 = coeficiente de determinación.

*Nota.* Se presentan las ecuaciones las cuales nos servirán para hallar las velocidades de operación del proyecto. Fuente: Rampas de Escape para Camiones en Carreteras: Un Nuevo Procedimiento para Justificar su Necesidad y Estimar su Ubicación, 2022, pág. 4.

### 5.3.2. Análisis del punto límite del sistema de frenos

Se debe estimar el punto en donde el sistema de frenos alcanza los 500 °F. Con ese propósito, se emplea el modelo GSRS, la velocidad que debemos introducir corresponde a la encontrada en el anterior punto que es la velocidad de operación. En una primera fase, se identifica el segmento en el cual, a la velocidad de operación, el sistema de frenos supera la temperatura de 500 °F. En dicho segmento, se realiza el cálculo de la distancia a la cual se alcanza dicha temperatura y se la obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_{f\ ti} = 500 - T_{E\ ti}$$

$$L_{500\ ti} = -\frac{V_{85\ ti}}{k_{1\ ti}} * \ln\left(1 - \frac{T_{f\ ti} - T_{0\ ti-1}}{T_{\infty} - T_{0\ ti-1} + k_{2\ ti} * HP_{B\ ti}}\right)$$

### **5.3.3. Estimación del punto en donde el conductor pueda decidir hacer uso de la rampa de frenado**

El objetivo principal es determinar la distancia que recorre el camión cuando este ya haya perdido el sistema de frenado y este sin control.

“Esta distancia se puede obtener mediante el tiempo de percepción y reacción más la distancia de decisión. El tiempo de percepción y reacción, acorde a la AASHTO (2011), es de 2,5 s y que abarca a la mayoría de los conductores” (García-Ramírez, 2022, p. 4).

La distancia se calculará con la fórmula con la siguiente fórmula:

$$Distancia = Velocidad * Tiempo$$

$$Distancia = Velocidad * 2.5$$

Donde:

D = distancia en donde el conductor es consciente de que el camión ha perdido el sistema de frenado (mi)

V= velocidad de operación

T = tiempo que es igual a 2.5 segundos según la AASHTO.

La distancia de visibilidad de decisión se refiere a la distancia necesaria para elegir una velocidad y ruta apropiada para comenzar a realizar maniobras complicadas, como lo es el ingreso a la rampa de frenado.

La AASHTO ha clasificado por categorías las distintas maniobras que puedan realizarse antes del ingreso a una rampa de frenado y se les ha asignado un tiempo estimado.

**Tabla 18***Tipos de Maniobra con su respectivo tiempo estimado*

<b>Tipo de Maniobra</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (s)</b>
C	Cambio de velocidad trayectoria/dirección en carretera rural	10.2 - 11.2
D	Cambio de velocidad trayectoria/dirección en carretera suburbana	12.1 - 12.9
E	Cambio de velocidad trayectoria/dirección en carretera urbana	14.0 - 14.5

*Nota.* Tiempo estimado para la realización de cada maniobra. Fuente: AASHTO, 2011.

La distancia de visibilidad de decisión se calcula con la siguiente ecuación:

$$DSD = \left( \frac{1.47}{5280} \right) * V * t$$

Donde:

DSD = distancia de visibilidad de decisión en la cual, el conductor toma la decisión de utilizar la rampa de escape (mi)

V = velocidad de operación del tramo

t = tiempo total para realizar la maniobra hasta ingresar a la rampa de escape (s)

La distancia de decisión para el uso de la rampa de escape será la sumatoria entre la distancia de visibilidad de decisión y distancia que recorre el camión hasta tomar la decisión de ingresar a la rampa.

$$DD_{re} = \left( \frac{2.5}{3600} \right) * V + \left( \frac{1.47}{5280} \right) * V * t$$



### 5.3.4. Estimación del punto en donde se alcanza la velocidad de operación de 80 mi/h

Esta longitud se puede calcular tomando como referencia la velocidad de ingreso a la rampa que tiene un valor aproximado de 80 mi/h. Pero se debe considerar que pueden presentarse 2 casos a partir de estimar esa longitud, a continuación, se describen los dos escenarios que se podrían dar y la solución para cada uno.

**Caso I:** la longitud del tramo donde la temperatura del sistema de frenado supera el límite, es suficientemente larga para alcanzar la velocidad de 80 mi/h.

Haciendo uso de las ecuaciones de la cinemática, se calculará el desnivel necesario para alcanzar la velocidad de 80 mi/h

$$h_{ti} = \frac{V_{80}^2 - V_{0\ ti}^2}{2 * g}$$

Donde:

$h_{ti}$  = desnivel para alcanzar la velocidad de 80 mi/h en el tramo i (mi)

$V_{80}$  = velocidad final del tramo i igual a 80 mi/h - (mi/h)

$V_{0\ ti}$  = velocidad de operación inicial del tramo i (mi/h),

$g$  = gravedad igual a 78919,11 (mi/h<sup>2</sup>).

Una vez hallado el desnivel, se procede a calcular la longitud en donde se alcanza la velocidad de 80 mi/h haciendo uso de la siguiente ecuación

$$L_{80} = (L_t - L_{500\ ti}) * \left(\frac{h_{ti}}{i}\right)$$

Donde:

$L_{80}$  = longitud para alcanzar la velocidad de 80 mi/h (mi)

$L_t$  = longitud total del tramo i (mi),

$L_{500\ ti}$  = longitud del tramo i en donde se alcanza la temperatura de 500° F (mi)

$h_{ti}$  = desnivel (mi)

$i$  = pendiente del tramo  $i$  (decimal).

**Caso II:** la longitud del tramo donde la temperatura del sistema de frenado supera el límite no es suficientemente larga para alcanzar la velocidad de 80 mi/h.

Como la longitud del tramo no es suficiente, esta longitud se alcanzará en el siguiente tramo o los siguientes tramos, por lo cual se debe determinar la velocidad final que alcanza el camión hasta llegar al tramo final. Esta velocidad se estima de acuerdo con las ecuaciones de la cinemática:

$$V_f = \sqrt{V_{0i}^2 + 2 * g * h_{ti}}$$

Donde:

$V_f$  = velocidad al final (mi/h)

$V_{0i}$  = velocidad de operación inicial del tramo (mi/h)

$g$  = gravedad igual a 78919,11 (mi/h<sup>2</sup>)

$h_{ti}$  = desnivel, el cual viene dado por la ecuación  $h_{ti} = i * L_t$

Existe la posibilidad que en el próximo tramo no se logre alcanzar la velocidad de 80 mi/h, en consecuencia, se debe seguir iterando hasta determinar el tramo en donde se logre alcanzar dicha velocidad.

### **5.3.5. Localización de la rampa de escape**

Una vez hallado los 2 puntos anteriormente descritos, la ubicación ideal de la rampa de frenado deberá estar localizada entre esos dos puntos, tomando en consideración las recomendaciones de la AASTHO en donde se menciona que en ningún caso la rampa puede estar ubicada en curvas o en zonas densamente pobladas.

### **5.4. Aplicación del procedimiento en el proyecto**

Antes de empezar a aplicar el procedimiento debemos tener una idea aproximada de la topografía y el perfil del tramo analizado para este proyecto, por lo cual haremos uso de la herramienta Google Earth Pro, la cual proporcionará datos aproximados de la

topografía y los gráficos del perfil de elevación del terreno, todo esto con el fin de que los datos usados para el procedimiento sean lo más cercano a los datos reales que pudiese tener la vía en la cual aplicaremos la rampa de frenado.

### Figura 31

*Perfil de elevación del tramo analizado*



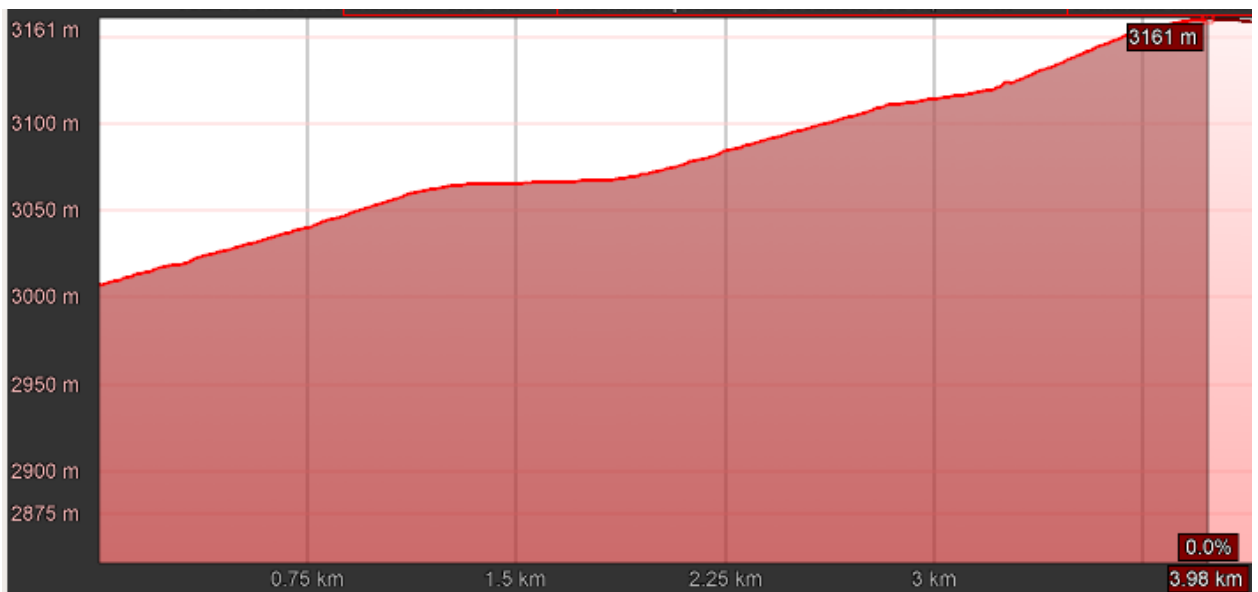
*Nota.* Perfil utilizado para obtener información relevante para el proyecto. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.

A partir de la figura anterior podemos observar dos segmentos en donde existen pendientes de descenso que se mantiene constante por una prolongada longitud. Seguidamente, se analizarán los segmentos tomando en consideración que la primera etapa tendría que ser analizado en sentido de Norte-Sur y la segunda etapa tendría un análisis, pero en sentido Sur-Norte.

Por lo tanto, estaríamos tomando en consideración los dos sentidos de la Avenida Simón Bolívar, y es así como evaluaremos la posibilidad de colocar dos rampas, una por cada sentido de la vía, pero solo si el análisis concluye que es necesario.

**Figura 32**

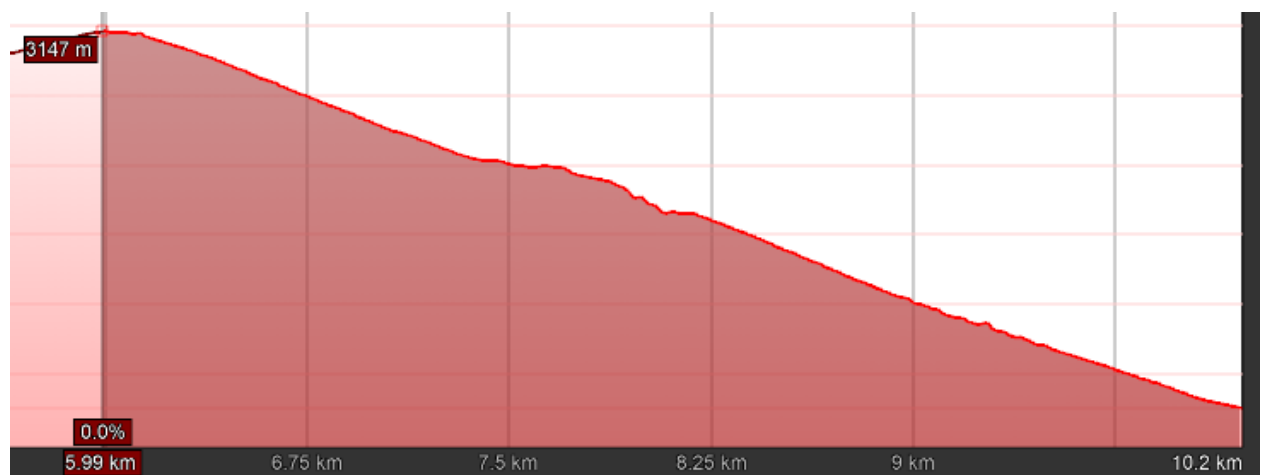
*Etapa Nro. 1*



*Nota.* Se muestra la primera etapa con su elevación máxima. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.

**Figura 33**

*Etapa Nro. 2*



*Nota.* Se muestra la segunda etapa con su elevación máxima. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.

**Tabla 19***Datos topográficos de la etapa Nro. 1*

<b>Cota Superior (m)</b>	<b>Cota Inferior (m)</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Distancia (millas)</b>	<b>Pendiente (%)</b>
3161	3156	290	0.18	1.7
3156	3132	405	0.25	5.9
3132	3117	298	0.19	5.0
3117	3109	309	0.19	2.6
3109	3082	616	0.38	4.4
3082	3075	151	0.09	4.6
3075	3067	353	0.22	2.3
3067	3066	212	0.13	0.5
3066	3063	199	0.12	1.5
3063	3047	396	0.25	4.0
3047	3026	416	0.26	5.0
3026	3018	170	0.11	4.7
3018	3011	164	0.10	4.3
3011	2998	193	0.12	6.7
Total(m)=		4172	2.59	

*Nota.* Distancia y pendiente aproximada de los tramos de la etapa Nro. 1. Elaborado por: El Autor.

Antes de realizar los respectivos cálculos se procedió a realizar diversos tanteos para poder hallar la velocidad máxima para un descenso seguro, obteniendo como resultado que a una velocidad constante de 25 mi/h el valor de la temperatura del sistema de frenado no supera los 500 °F, por otro lado, si realizamos los calculo con una velocidad superior la temperatura límite se excede y el riesgo de pérdida de control del camión es inminente.

Una vez conocida la velocidad de descenso seguro se procede hallar la velocidad de operación del camión de diseño, este camión tendrá un peso bruto de 45 Toneladas (99208 lb) que es un dato que con frecuencia se lo utiliza. Los parámetros de difusividad y transferencia de calor serán los primeros en ser hallados luego de conocer la velocidad de descenso seguro.

Difusividad

$$k_1 = 1.5 * (1.1852 + 0.0331 * 25) = 3.019 h^{-1}$$

Transferencia de calor

$$k_2 = \frac{1}{0.1602 + 0.0078 * 25} = 2.815 \frac{^{\circ}F}{hp}$$

Una vez calculados estos parámetros se calcula la fuerza de arrastre:

$$F_{drag} = 459.35 + 0.132 * 25^2 = 541.850 lb$$

Con el anterior resultado se procede a calcular la potencia del sistema de frenos para cada pendiente, a continuación, se presente el ejemplo de cálculo para la primera pendiente de 1.7% :

Potencia del sistema de frenos para una pendiente de 1.7%

$$HP_B = (W * \theta - F_{drag}) * \frac{V}{375} - HP_{eng}$$

$$HP_B = (99208 * 0.017 - 541.850) * \frac{25}{375} - 63.33 = 14.58 hp$$

En el caso de la primera pendiente la temperatura inicial es de 150 ° F, posteriormente, la temperatura límite de esta pendiente será calculada mediante la ecuación descrita a continuación y esta a su vez se convierte en la temperatura inicial para la siguiente pendiente y así sucesivamente para todas las pendientes.

$$T_{lim} = T_f + T_E$$

En donde el aumento de temperatura debido a una parada de emergencia (T<sub>E</sub>) es igual a:

$$T_E = 3.11 \times 10^{-7} * W * V^2$$

$$T_E = 3.11 \times 10^{-7} * 99208 * 25^2 = 19.284 ^{\circ}F$$

Así, se determina la temperatura de frenado en cada pendiente mediante la siguiente ecuación.

$$T_{f-tramo 1} = T_0 + [T_{\infty} - T_0 + k_2 * HP_{B1}][1 - e^{\frac{-k_1 * L1}{V}}]$$

$$T_{f-tramo\ 1} = 150 + [90 - 150 + 2.815 * 14.58] \left[ 1 - e^{\frac{-3.019 * 0.18}{25}} \right] = 149.592$$

La temperatura límite del sistema de frenos al final del tramo 1:

$$T_{lim-tramo\ 1} = T_{f-tramo\ 1} + T_E$$

$$T_{lim-tramo\ 1} = 149.592 + 19.284 = 168.875\ ^\circ\text{F}$$

Para el tramo 2 se tiene:

$$T_{f-tramo\ 2} = T_{lim-tramo\ 1} + [T_\infty - T_{lim-tramo\ 1} + k_2 * HP_{B2}] \left[ 1 - e^{\frac{-k_1 * L2}{V}} \right]$$

$$T_{f-tramo\ 2} = 168.875 + [90 - 168.875 + 2.815 * 292.479] \left[ 1 - e^{\frac{-3.019 * 0.25}{25}} \right]$$

$$= 191.162$$

La temperatura límite del sistema de frenos al final del tramo 2:

$$T_{lim-tramo\ 2} = T_{f-tramo\ 2} + T_E$$

$$T_{lim-tramo\ 2} = 191.162 + 19.284 = 210.446\ ^\circ\text{F}$$

## Tabla 20

*Resultados de la temperatura limite en cada tramo*

<b>Nro. Tramo</b>	<b>T0 (°F)</b>	<b>HPB (hp)</b>	<b>Tf (°F)</b>	<b>Tlim (°F)</b>
1	150.000	14.579	149.592	168.875
2	168.875	292.479	191.162	210.446
3	210.446	233.459	222.316	241.600
4	241.600	71.779	242.757	262.041
5	262.041	190.440	278.488	297.771
6	297.771	207.149	302.001	321.285
7	321.285	50.436	318.951	338.234
8	338.234	-68.256	331.284	350.567
9	350.567	0.253	346.716	365.999
10	365.999	167.773	371.748	391.031
11	391.031	234.419	402.062	421.346
12	421.346	211.787	424.704	443.987
13	443.987	182.846	445.954	465.237
14	465.237	346.040	473.849	493.133

*Nota.* Luego de haber realizado todos los cálculos se presentan los resultados que se obtuvieron en cada tramo. Elaborado por: El Autor.

El lapso necesario para que el vehículo alcance el final de la pendiente a una velocidad constante de 25 millas por hora es de aproximadamente de 7 minutos, calculado mediante la siguiente ecuación de la cinemática:

$$Tiempo = \frac{Distancia}{Velocidad}$$

$$Tiempo = \frac{2.59 \text{ millas}}{25 \frac{\text{millas}}{\text{hora}}} = 0.104 \text{ horas} = 6.22 \text{ minutos}$$

Es importante destacar que si el conductor mantiene una velocidad inferior a 25 millas por hora, que equivale a aproximadamente 40 kilómetros por hora, se prevendrá el sobrecalentamiento de los frenos y se evitará la pérdida de control del vehículo.

Una vez calculada la velocidad máxima de descenso seguro procedemos a calcular la velocidad de operación con las “Ecuaciones de predicción de la velocidad de operación”. Dado que nos encontramos en una pendiente descendente, se deben utilizar las ecuaciones asociadas con pendientes negativas. Por lo tanto, para el primer tramo, caracterizado por una pendiente del 1.7%, se procederá a realizar el ejemplo de cálculo de la velocidad de operación:

$$V_{85} = 0.05 * L + 73.65$$

$$V_{85} = \left( \frac{0.05 * \left( \frac{L}{1.609} \right) + 73.65}{1.609} \right) * 0.97 + 1$$

$$V_{85 \text{ tramo } 1} = \left( \frac{0.05 * \left( \frac{0.18}{1.609} \right) + 73.65}{1.609} \right) * 0.97 + 1 = 45 \frac{\text{mi}}{\text{hr}}$$

Según García-Ramírez (2022), “El valor de 1,609 permite transformar las unidades del SI al sistema inglés además se debe multiplicar por 0,97 y sumar 1 mi/h” (p.



7). Todo esto con el fin de realizar la conversión de unidades y corrección del valor de la velocidad de operación.

**Tabla 21**

*Velocidad de operación de cada tramo*

<b>Nro. Tramo</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>V. de operación-V85 (mi/h)</b>
1	1.7	45
2	5.9	45
3	5.0	45
4	2.6	45
5	4.4	45
6	4.6	45
7	2.3	45
8	0.5	45
9	1.5	45
10	4.0	45
11	5.0	45
12	4.7	45
13	4.3	45
14	6.7	41

*Nota.* Velocidad de operación calculados a partir de las distintas pendientes del tramo analizado. Elaborado por: El Autor.

Debido a que la velocidad de operación de todos tramos supera la velocidad máxima segura de descenso de 25 mi/h, entonces, se justifica la implementación de una rampa de frenado para camiones, ya que la probabilidad de que los frenos experimenten sobrecalentamiento durante el descenso por las distintas pendientes es alta, con esto se garantiza condiciones seguras al transitar por dicho tramo mitigando así los riesgos asociados a la velocidad excesiva.

En el siguiente punto se estimará el punto en donde el sistema de frenado alcanza el límite que es de 500 °F, para lo cual se deben calcular las temperaturas finales en cada tramo de la vía utilizando las velocidades de operación calculadas, en la siguiente tabla

se presentan los resultados obtenidos luego de haber realizado los cálculos con las distintas velocidades de operación de cada tramo.

**Tabla 22**

*Velocidad de operación de cada tramo*

<b>Nro. Tramo</b>	<b>V85 (mi/h)</b>	<b>T0 (°F)</b>	<b>HPB (hp)</b>	<b>Tf (°F)</b>	<b>T lim (°F)</b>
1	45	150.000	54.730	150.750	213.229
2	45	213.229	554.950	234.580	297.059
3	45	297.059	448.714	308.041	370.520
4	45	370.520	157.691	370.994	433.473
<b>5</b>	<b>45</b>	<b>433.473</b>	<b>371.280</b>	<b>446.316</b>	<b>508.795</b>
6	45	508.795	401.357	511.847	574.325
7	45	574.325	119.273	569.464	631.943
8	45	631.943	-94.373	623.460	685.938
9	45	685.938	28.944	680.025	742.504
10	45	742.504	330.480	742.373	804.852
11	45	804.852	450.443	808.641	871.119
12	45	871.119	409.705	871.310	933.789
13	45	933.789	357.610	932.484	994.963
14	41	994.963	592.796	998.623	1050.488

*Nota.* Luego de haber realizado todos los cálculos se presentan los resultados que se obtuvieron en cada tramo. Elaborado por: El Autor.

Se puede observar que en el quinto tramo se excede los 500 °F, entonces, se procede a calcular la distancia en donde se alcance esta temperatura crítica mediante el retro cálculo utilizando las ecuaciones del modelo GSRS. El primer paso consiste en estimar la temperatura límite de dicho tramo, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$T_{f-tramo\ 5} = 500 - T_E$$

$$T_{f-tramo\ 5} = 500 - 62.479 = 437.521\ ^\circ\text{F}$$

El aumento de temperatura debido a una parada de emergencia se calculó con la velocidad de operación del tramo número 5.

$$T_{E-Tramo\ 5} = 3.11 \times 10^{-7} * W * V^2$$

$$T_{E-Tramo 5} = 3.11 \times 10^{-7} * 99208 * 45^2 = 62.479 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Para encontrar el valor de la longitud en donde se alcanza los 500 °F haremos uso de la siguiente ecuación:

$$L_{500 \text{ } ti} = -\frac{V_{85 \text{ } ti}}{k_{1 \text{ } ti}} * \ln \left( 1 - \frac{T_{f \text{ } ti} - T_{0 \text{ } ti-1}}{T_{\infty} - T_{0 \text{ } ti-1} + k_{2 \text{ } ti} * HP_{B \text{ } ti}} \right)$$

$$L_{500-tramo 5} = -\frac{V_{85 \text{ } tramo 5}}{k_{1 \text{ } tramo 5}} * \ln \left( 1 - \frac{T_{f \text{ } tramo 5} - T_{0 \text{ } tramo 4}}{T_{\infty} - T_{0 \text{ } tramo 4} + k_{2 \text{ } tramo 5} * HP_{B \text{ } tramo 5}} \right)$$

$$L_{500-tramo 5} = -\frac{45}{4.012} * \ln \left( 1 - \frac{437.52 - 433.473}{90 - 433.473 + 1.956 * 371.280} \right) = 0.11 \text{ } millas$$

Con esa longitud calculada, se espera que la temperatura será aproximadamente de 499.687 °F. La distancia desde el inicio de la pendiente hasta el punto en donde se alcanza la temperatura límite sería de 0.92 millas (0.18+0.25+0.19+0.19+0.11).

La ecuación que se presenta a continuación nos ayuda a calcular el punto en donde el conductor es consciente de la situación y está en capacidad de decidir el uso la rampa.

$$DD_{re} = \left( \frac{2.5}{3600} \right) * V + \left( \frac{1.47}{5280} \right) * V * t$$

Previo a esto se debe saber si el tramo se encuentre en una zona urbana, suburbana o rural. Para este caso se ha considerado que la zona de estudio se encuentra en una zona suburbana y según la tabla 18 el tipo de maniobra que se aplica para una zona suburbana es la categoría D, el tiempo de decisión que se adoptará será el máximo (12.9 segundos).

$$DD_{re} = \left( \frac{2.5}{3600} \right) * 45 + \left( \frac{1.47}{5280} \right) * 45 * 12.9 = 0.19 \text{ } millas$$

La distancia donde el conductor es consciente de la situación y tiene la capacidad de decidir si utilizar la rampa de frenado inicia desde el quinto tramo, por lo tanto, sería la suma entre la longitud en del tramo 5 en donde se alcanzó los 500 °F y la distancia de decisión para el uso de la rampa de escape.

$$0.11 \text{ } millas + 0.19 \text{ } millas = 0.30 \text{ } millas$$

La distancia desde el inicio de la pendiente hasta el punto donde el conductor está al tanto de la situación sería de 1.11 millas (0.18+0.25+0.19+0.19+0.30).

El siguiente apartado consiste en estimar el punto en donde se alcanza la velocidad de operación de 80 mi/h (130 km/h), con este supuesto se deben evaluar los dos casos que se pueden llegar a presentar. El primer caso consiste en calcular el desnivel para que se alcance la velocidad de 80 mi/h. Con la ecuación siguiente se procede:

$$h_{tramo\ 5} = \frac{V_{80}^2 - V_{0\ t5}^2}{2 * g}$$

$$h_{tramo\ 5} = \frac{80^2 - 45^2}{2 * (78919.11)} = 0.028\ millas$$

La longitud en donde se alcanza esa velocidad se estima con la siguiente ecuación:

$$L_{80-tramo\ 5} = (L_{tramo\ 5} - L_{conductor}) * \left(\frac{h_{tramo\ 5}}{i_{tramo\ 5}}\right)$$

$$L_{80-tramo\ 5} = (0.38 - 0.30) * \left(\frac{0.028}{0.044}\right) = 0.05\ millas$$

Entonces, la distancia desde el tramo 5 sería de 0.35 millas, que es el resultado de la suma:

$$0.30\ millas + 0.05\ millas = 0.35\ millas$$

Este valor no supera la longitud total del quinto tramo, por lo que no es necesario calcular el caso II. El punto en el cual se alcanza la velocidad de operación supuesta de 80 mi/h corresponde al tramo número 5 a 0.35 millas desde su inicio. La ubicación con respecto al principio de la pendiente de descenso sería de:

$$0.18 + 0.25 + 0.19 + 0.19 + 0.11 + 0.19 + 0.05\ millas = 1.16\ millas$$

Con los resultados hallados anteriormente, se concluye que la rampa de frenado de emergencia debe ubicarse entre las distancias de 1.11 millas (1.79 km) y 1.16 millas (1.87) desde el inicio del tramo que se está analizando. Es imprescindible mencionar que la rampa de frenado no debe estar ubicada antes de las 1.11 millas ni después de las 1.16

millas y además no se puede considerar colocar la rampa a 1.16 millas, ya que la AASTHO recomienda que la velocidad de 80 mi/h solo se usara para determinar la longitud del lecho de frenado.

**Figura 34**

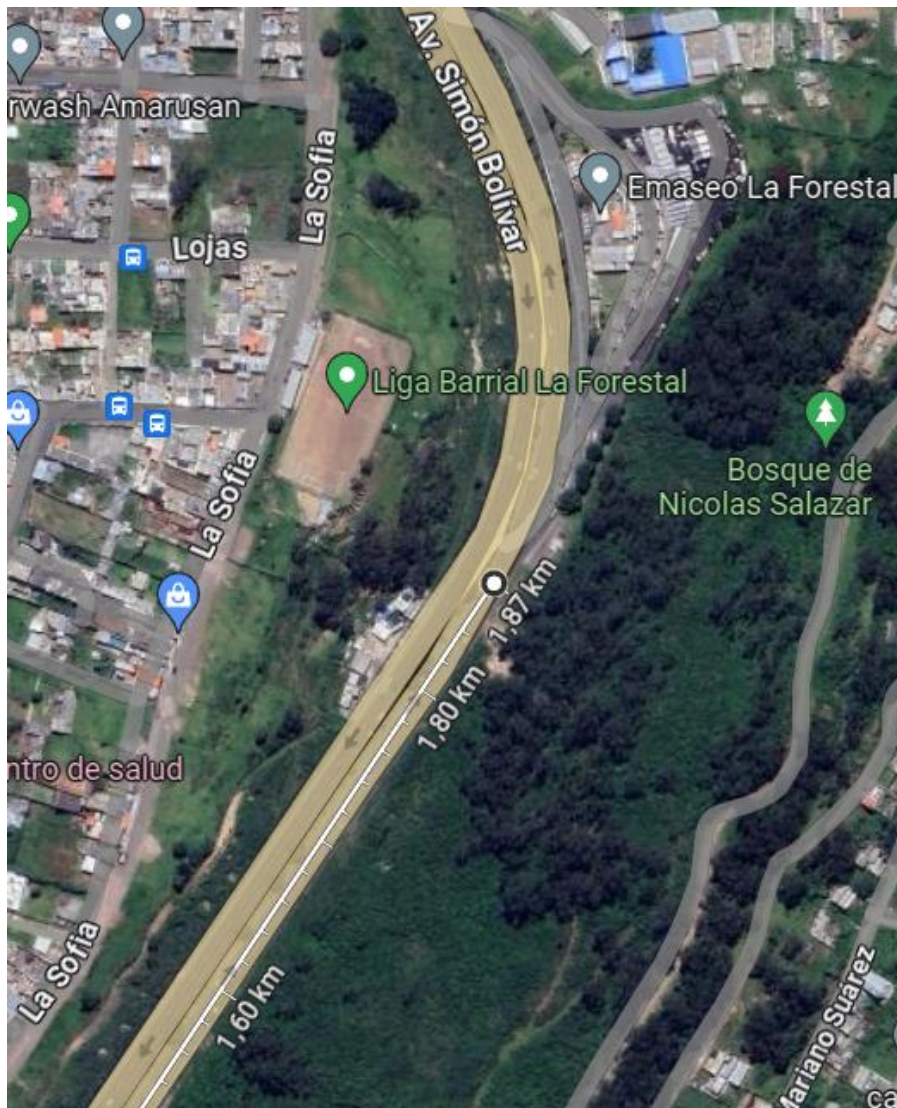
*Límite inferior en donde se podría ubicar la rampa de frenado*



*Nota.* Se presenta la longitud desde la cual se puede colocar el inicio la rampa de frenado. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.

**Figura 35**

*Límite superior en donde se podría ubicar la rampa de frenado*



*Nota.* Se presenta la longitud límite en la cual se puede colocar el inicio la rampa de frenado. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.



**Figura 36**

*Área delimitada en donde podría estar ubicada la rampa de frenado*



*Nota.* El sector “La Forestal Alta” es ideal para ubicar una rampa de frenado. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro, 2023.

## CAPÍTULO VI

### DISEÑO GEOMÉTRICO

#### 6.1. Introducción

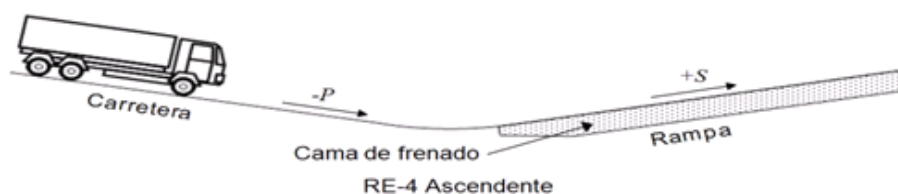
Luego de haber establecido la necesidad de implementar una rampa de frenado de emergencia y determinar su ubicación, se deben tener en cuenta varios factores para su diseño. Uno de los más importantes es la velocidad de ingreso a la rampa, así como las características geométricas propias de una rampa de frenado de emergencia, el señalamiento horizontal y vertical que servirá para orientar a los usuarios que requieran hacer uso de este dispositivo de seguridad y varios dispositivos complementarios.

#### 6.2. Selección del tipo de rampa

Para el proyecto se optó por el tipo de rampa de frenado ascendente que estará ubicada a la altura del kilómetro 8+000 esto según las abscisas del proyecto, el sentido de circulación es de Sur a Norte por ende en ingreso será del lado derecho, este tramo tienes condiciones favorables para aplicar este tipo de rampa, ya que la pendiente del tramo es de -4.4% para luego en el ingreso a la rampa realizar un cambio de pendiente positiva del 5% esto se realiza con el fin de que el lecho de frenado funcione de una mejor manera y se reduzca la longitud de la rampa.

#### Figura 37

*Rampa de frenado ascendente*



*Nota.* Tipo de rampa seleccionada para el proyecto. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036 SCT2-2022, 2022, p. 4)



### 6.3. Velocidad de entrada a la rampa de frenado

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2022), “En términos generales, una velocidad peligrosa se refiere a aquella donde los vehículos pueden salir de su carril de circulación por restricciones en el alineamiento horizontal (curvas), cuando es superior a 140 km/h o cuando no es compatible con el entorno por la presencia de zonas pobladas en sus cercanías” (p. 27).

La velocidad de entrada a una rampa de frenado puede determinarse mediante la siguiente ecuación, el límite máximo de dicha velocidad es de 140 kilómetros por hora.

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

Donde:

$V_e$  = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h

$V_p$  = Velocidad de operación en la entrada a una rampa previa, en km/h

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

$L_i$  = Longitud del subtramo  $i$ , 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), adimensional

$P_i$  = Pendiente descendente del subtramo  $i$ , en metro/metro

La normativa de tránsito nacional no permite que los camiones circulen a una velocidad superior a los 70 kilómetros por hora por la Avenida Simón Bolívar, sin embargo, considerando todos los factores que pueden influir mientras se circula durante el tramo de estudio y tomando en cuenta el caso de que el vehículo de diseño se quedara

sin frenos al inicio de la pendiente descendente, se podría alcanzar sin ningún problema la velocidad máxima de 140 km/h en el inicio de la rampa de frenado.

#### **6.4. Ángulo de entrada**

El acceso a las rampas de frenado debe ser perfectamente distinguible para permitirle al usuario tener un panorama claro de este dispositivo de seguridad y así pueda observar el cambio que existe entre el alineamiento horizontal de la vía y el de la rampa, con el fin de evitar confusiones al momento de circular en la vía y sobre todo en las noches. Por ende, el ángulo del acceso respecto a la vía principal será de 5° con el fin de asegurar la estabilidad del vehículo durante la maniobra de ingreso a la rampa e incrementar la capacidad de desaceleración del lecho de frenado de la rampa.

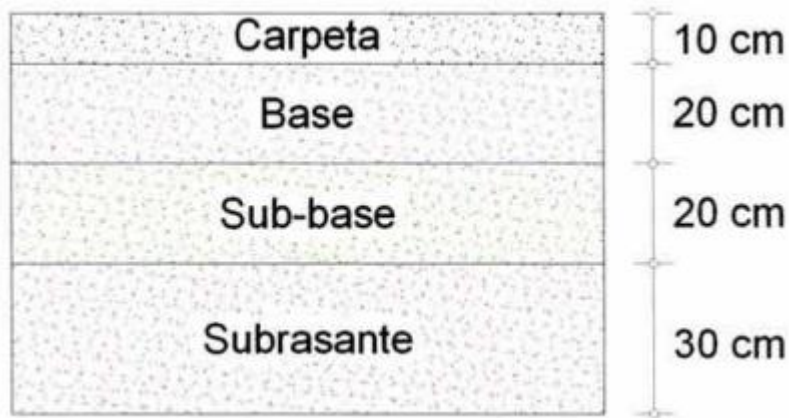
#### **6.5. Zona de acceso a la rampa**

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2022), “El acceso sirve para guiar de manera suave al conductor hacia la cama de frenado, por lo cual debe estar pavimentado y su eje longitudinal deberá tener una desviación mínima con respecto a la trayectoria que lleva previamente el vehículo sin control” (p. 29).

La zona de acceso debe pintarse con un diseño de cuadrícula de color rojo/blanco para diferenciarlo de la vía, para el proyecto esta zona tendrá una longitud de 70 metros, esta longitud permite que el conductor centre el vehículo e ingrese directo hacia el lecho de frenado y así evitar que se produzca un frenado diferencial del camión que pueda desestabilizarlo provocando el volcamiento de este. La estructura del acceso de la rampa de frenado será la de un pavimento flexible. Los espesores de cada capa están dados de acuerdo con el diseño usual que tiene una vía con tráfico moderado.

**Figura 38**

*Estructura de un pavimento flexible*



*Nota.* Espesores que tendrá la zona de acceso de la rampa de frenado. Fuente: (Proyecto ejecutivo de una rampa para frenado de emergencia ubicada en el km 86+4800 del C.D. Pátzcuaro-Uruapan, p. 57)

### **6.6. Longitud efectiva de la cama de frenado**

La longitud requerida del lecho de frenado depende de tres factores principales: la velocidad de entrada hacia la rampa y su pendiente. A continuación, se presenta el cálculo de esta longitud:

$$L_e = A + B * Ve + C * Ve^2 + D * Ve^3$$

Donde:

$L_e$  = Longitud efectiva de la cama de frenado, en metros

$Ve$  = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h

A, B, C, D = Constantes a partir de tabla 23

$$L_e = -22.41526366 + 0.79435949 * 140 - 0.00341229 * 140^2 + 0.00006636 * 140^3$$

$$L_e = 204 \text{ metros}$$

**Tabla 23***Constantes para velocidad de entrada de 101 a 140 km/h*

Constante	101 a 140 km/h						
	Pendiente de la cama						
	-5	0	5	10	15	20	25
A	-282.5254598	-86.92116605	-22.41526366	-23.58126996	-30.22693156	425493942	-3.02928162
B	8.62497966	2.74.448334	0.79435949	0.73691189	0.83689803	0.17754232	0.09392263
C	-0.08308336	-0.0231079	-0.00341229	-0.0020575	-0.00241934	0.00297324	0.00392611
D	0.00037469	0.00014679	0.00006636	0.00004974	0.00004233	0.00002258	0.00001536

*Nota.* Se presentan las constantes utilizadas para obtener la longitud efectiva de la cama de frenado. Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018).

### 6.7. Longitud total de la cama de frenado

De acuerdo con la normativa mexicana, la longitud total del lecho de frenado debe ser el 25% mayor que la longitud efectiva calculada, se obtiene el siguiente resultado:

$$L_L = 1.25 * L_e = 1.25 * 204 = 255 \text{ metros}$$

Por lo tanto, la longitud final del lecho de frenado será 255 metros.

### 6.8. Ancho de la cama de frenado

El ancho de la cama debe estar configurado de tal manera que pueda albergar hasta dos vehículos, cabe recalcar que este caso no es común; de acuerdo con la norma AASHTO el ancho mínimo y máximo es de 8 metros y 12 metros respectivamente. Considerando que la Avenida Simón Bolívar es de alto tráfico, se considerara un ancho de cama de 10 metros.

### 6.9. Profundidad de la cama de frenado

La AASTHO recomienda un espesor mínimo de 60 centímetros, pero es recomendable que se trabaja con un espesor mayor debido a que materiales finos externos se pueden acumular en el fondo del lecho de frenado, por lo que el espesor propuesto para el proyecto será gradual, dicha longitud será de 60 metros, iniciando con una altura de 10

centímetros para terminar con una longitud de 70 centímetros al final de la longitud de transición y continuar con una altura constante de 70 centímetros.

En el fondo del lecho de frenado se colocará la misma estructura de pavimento flexible usada en la zona de acceso con sus respectivos espesores, obviando la capa de la subrasante, ya que las cargas vehiculares no tendrán un contacto directo con esta capa, el lecho de frenado será el encargado de disipar dichas cargas entonces no es necesario que se coloque la capa.

#### **6.10. Material que conformara el lecho de frenado**

El material para usarse debe ser difícil de compactar, su coeficiente de resistencia a la rodadura tiene que ser alto, los diámetros deben ser variables entre 5 a 10 mm y no debe estar contaminado con material fino o arcillas. Es por esta razón que se seleccionó la gravilla suelta.

#### **6.11. Camino de servicio**

El ancho mínimo que se debe plantear para un camino de servicio es de 5 metros, para el proyecto se ha planteo la colocación de dos caminos de servicio a los costados de la rampa de frenado con el fin de facilitar las maniobras de rescate de los camiones que hagan uso de la rampa de frenado, estos caminos tendrán una dimensión de 5 metros respectivamente. Al igual que la zona de acceso, los caminos de servicio tendrán la misma estructura de pavimento flexible y los espesores serán los mismos.

#### **6.12. Drenaje y subdrenaje**

En la parte inferior más baja de la cama de frenado se requiere diseñar un subdrén para el proyecto se ha propuesto que la pendiente longitudinal de 2%.

El subdrén a utilizar está conformado por tubos perforados de policloruro de vinilo (PVC), con diámetro interno de 20 centímetros, los tubos se colocarán dentro de una zanja cuyas dimensiones son las siguientes: 80 centímetros de ancho por 165 centímetros de

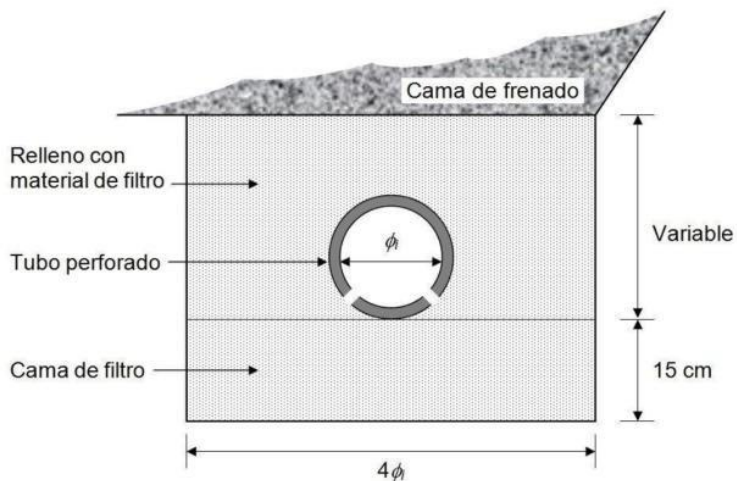
alto, para entender de una mejor manera las dimensiones se presenta la figura 39 como guía, estos tubos a su vez descansan sobre una cama de 15 centímetros de espesor, formada con material para rellenos.

El agua captada por el subdrén se evacuará mediante el uso de tubos del mismo material que el usado para el subdrén, pero sin perforaciones. Es importante colocar una tubería de salida en la parte más baja del subdrén y las siguientes cada 100 metros de manera que no queden sumergidas ni que el agua retorne al interior del subdrén.

Se debe complementar las tuberías con la protección en las bocas de salida utilizando rejillas que eviten el ingreso de roedores y prevengan actos de vandalismo en contra de la estructura.

**Figura 39**

*Subdrén típico*



*Nota.* Dimensiones de la zanja en función al diámetro de la tubería. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 11)

## CAPÍTULO VII

### ESTUDIO TOPOGRÁFICO

#### 7.1. Antecedentes

El estudio topográfico engloba un conjunto de tareas tanto en campo como en gabinete esencial para representar de manera gráfica y a escala la topografía de un área de terreno mediante su planimetría y altimetría. En el estudio se pretende identificar en la topografía los puntos característicos del sitio en donde se desea proyectar la obra y las estructuras existentes alrededor del proyecto.

#### 7.2. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico constituye el resultado final de un estudio topográfico. Para este proyecto el levantamiento fue realizado mediante el uso de herramientas tecnológicas como son: Google Earth Pro, Cad Mapper, Global Mapper etc. debido a que la zona de estudio se encuentra en una vía rápida de alto tráfico y el terreno donde sea determinado, la ubicación idónea de la rampa de frenado es escarpada y de difícil acceso. De igual manera, si se desean obtener datos precisos con el fin de garantizar que los datos sean confiables se puede optar por realizar un levantamiento con dron.

Previo a la realización del levantamiento, se llevó a cabo el análisis del área en la que se pretende implementar la rampa de frenado con el objetivo de conocer a fondo el sector y elaborar un plano que contenga elementos lo más similar posible a lo que se evidencia en el sector.

Al enfocarnos en la topografía del terreno existen dos conceptos en los que nos enfocaremos, estos se describen a continuación:

**La Planimetría:** se encarga de recopilar los puntos clave para proyectar sobre un plano horizontal la forma del terreno sin considerar sus elevaciones.

**La Altimetría:** consiste en determinar la elevación de distintos puntos del terreno con respecto al plano horizontal.

### 7.3. Ubicación del levantamiento topográfico

El sitio en donde se realizará el levantamiento de datos topográficos se encuentra ubicado la Provincia de Pichincha, Cantón Quito, Parroquia La Ferroviaria, en el barrio Forestal Alta.

**Tabla 24**

*Ubicación del levantamiento topográfico*

<b>Localidad</b>	Provincia:	Pichincha
	Ciudad:	Quito
	Sector:	La Forestal Alta
<b>Punto:</b>	<b>Longitud:</b>	<b>Latitud:</b>
Inicio	777929.57 m	9971246.32 m
Final	777997.00 m	9971346.00 m

*Nota.* Coordenadas UTM de la ubicación en donde se llevará a cabo el levantamiento topográfico. Elaborado por: El Autor.

### 7.4. Tipo de Terreno

La pendiente longitudinal y transversal del terreno hacen referencia a las inclinaciones naturales del terreno, las cuales nos definen el tipo de terreno en función de las gradientes expresadas en porcentaje, la normativa de diseño geométrico de carreteras MOP 2003 clasifica el terreno, basado en sus características topográficas y estas son: llano, ondulado, montañoso y escapado.

Tomando en consideración lo observado en el campo, los datos obtenidos del levantamiento topográfico y exportados al programa Civil 3D, se concluye que el tipo de terreno en donde se pretende implantar la rampa de frenado de emergencia es de tipo ESCARPADA. Según el Manual de Carreteras: Diseño geométrico DG-2018 (2018):



Un terreno escarpado tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo. (p. 14)

#### **7.5. Sistema de coordenadas**

Los sistemas de coordenadas nos permiten determinar la posición geográfica de puntos sobre la superficie terrestre y georreferenciarlos de manera que su ubicación tenga la mayor precisión posible. El sistema utilizado para el presente proyecto es el UTM (Universal Transversal de Mercator).

El sistema coordinado UTM es un sistema de proyección cartográfica basado en retículas para referenciar puntos que estén ubicados sobre la superficie terrestre, siendo la proyección UTM cilíndrica y tangente a una elipse.

El datum, por otro lado, es un método que proporciona referencias espaciales para describir la forma y tamaño de la tierra, generando un origen para los sistemas de coordenadas. En este proyecto se utilizó el datum WGS-84 SIRGAS.

## CAPÍTULO VIII

### SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL

#### 8.1. Introducción

Cuando un conductor se enfrena a una situación donde pierde el control sobre la velocidad de su vehículo, experimenta un elevado grado de estrés, por lo tanto, el señalamiento tanto vertical como horizontal desempeñan un papel fundamental para guiar al conductor de manera segura hacia la rampa de frenado. En este capítulo, se tratan las consideraciones principales relacionadas con la colocación del señalamiento y se presentan las varias recomendaciones conforme a lo que dictan las diferentes normativas internacionales.

#### 8.2. Señalamiento horizontal

En el ámbito de la seguridad vial, el señalamiento horizontal es una de las medidas más rentables económicamente que existen actualmente en el mercado, además de la eficiencia para transmitir un mensaje a los conductores, hay que tomar en cuenta que todo esto se va a cumplir siempre y cuando las señales de tránsito se instalen de manera correcta.

Debido a que es de vital importancia informar de manera clara a los usuarios acerca de la existencia de una rampa de frenado por la vía por la que están transitando, la norma mexicana plantea ciertas directrices para orientar a los conductores hacia la rampa de frenado, una de ellas es que se debe pintarse una raya de color rojo en el centro del carril, dicha línea inicialmente se pinta de manera intermitente y aproximadamente un kilómetro antes del acceso a la rampa cambia a una marcación continua, además, es necesario agregar botones reflectantes de color rojo para mejorar la visibilidad de la línea guía todo esto se lo realiza ya que, en condiciones nocturnas se dificulta su visibilidad. En la actualidad para producir el efecto retro reflejante en la pintura vial es necesario el

uso de microesferas de vidrio, estas funcionan en conjunto con la pintura para retro reflejar la luz de los faros de los autos.

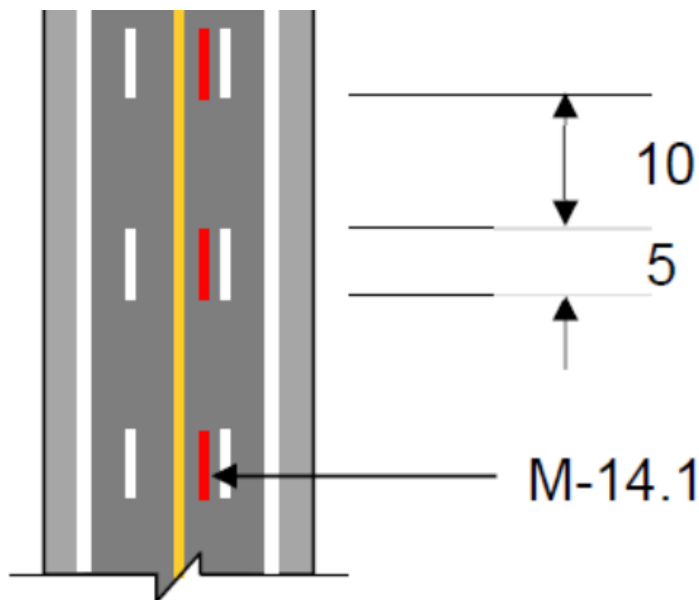
### 8.2.1. Raya de emergencia discontinua (M-14.1)

Esta línea discontinua inicia desde el primer tramo con pendiente descendente continua y se prolonga hasta un kilómetro antes de la zona de acceso, lugar donde los conductores han de tomar la decisión de entrar a ella.

Esta se situará al centro del carril de la extrema izquierda descendente de la Avenida Simón Bolívar, las dimensiones de los segmentos son de 5 metros de largo y 40 centímetros de ancho, con una separación entre sí de 10 metros, el color de dicha raya es rojo reflejante, el cual debe estar dentro de las coordenadas cromáticas mostradas en la tabla 25, para cumplir con los coeficientes mínimos de reflexión.

**Figura 40**

*Esquema de Raya de emergencia discontinua*



*Nota.* Dimensiones de la raya discontinua que debe poseer a lo largo de toda su longitud.  
Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 11)

**Tabla 25***Gama del color rojo, blanco, amarillo a usarse en el señalamiento horizontal*

Color	Coordenadas Cromáticas		Coeficiente mínimo de reflexión (mcd/lx) m <sup>2</sup>					
	x	y	Pintura base agua			Pintura termoplástica		
			Inicial	A 180 días	Vida de proyecto	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto
Rojo	0,480	0,300	35	24	11	51	39	23
	0,690	0,315						
	0,620	0,380						
	0,480	0,360						
Blanco	0,355	0,355	250	150	100	300	250	150
	0,305	0,305						
	0,285	0,325						
	0,335	0,375						
Amarillo	0,560	0,440	200	150	50	250	175	100
	0,490	0,510						
	0,420	0,440						
	0,460	0,400						

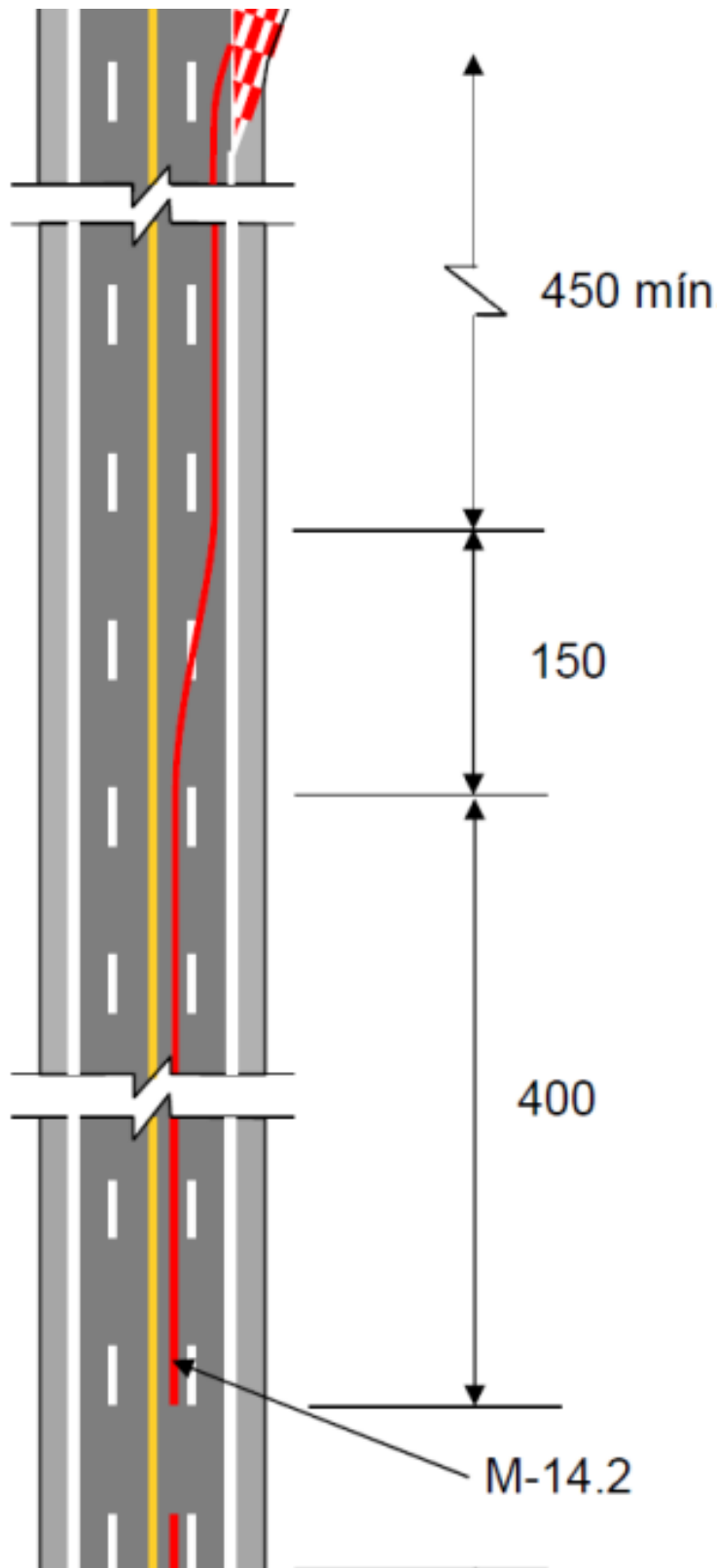
*Nota.* Coordenadas que definen el área cromática para el color rojo, blanco y amarillo que se debe utilizar para las rayas del señalamiento horizontal. Fuente: (Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, 2022, p. 11).

### **8.2.2. Raya de emergencia continua (M-14.2)**

Este elemento del señalamiento horizontal inicia desde el punto donde finaliza la raya de emergencia para frenado discontinua hasta donde inicie la zona de acceso a la rampa de frenado, esta raya continua debe ir pasando suavemente de carril hasta llegar al carril de extrema derecha de la Avenida Simón Bolívar, la distancia para realizar el cambio de carriles será de 150 metros y antes del ingreso a la rampa la raya de emergencia debe pintarse un tramo con visibilidad ubicado a no menos de 450 metros. El ancho de la línea será de 40 centímetros y debe cumplir con coeficientes mínimos de reflexión.

**Figura 41**

*Esquema de Raya de emergencia continua*



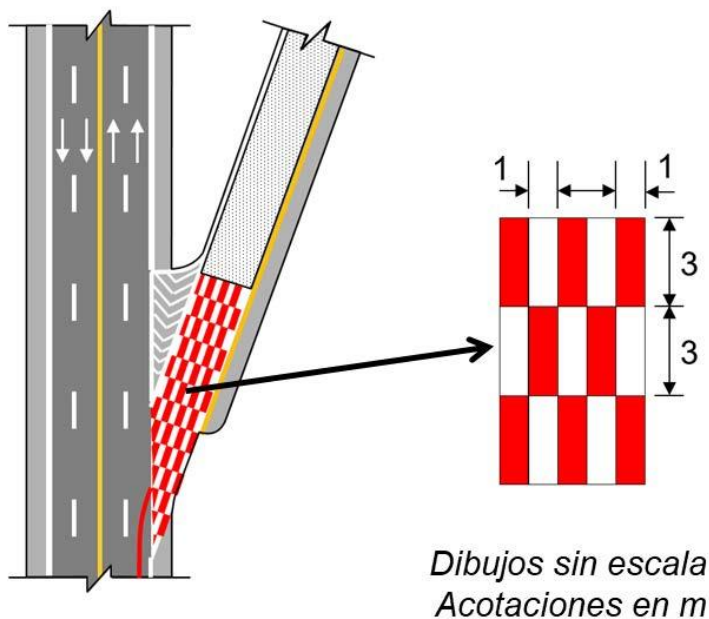
*Nota.* Dimensiones de la raya continua que debe poseer a lo largo de toda su longitud.  
Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 11)

### 8.2.3. Marca para indicar el acceso a una rampa de frenado (M-14.3)

Está ubicada entre el límite exterior donde se deja hacer uso de la vía y el inicio de la cama de frenado. La marca tiene un diseño de cuadrícula compuesto por rectángulos reflectantes alternados en color rojo y blanco, las dimensiones de cada rectángulo son de 3 metros de largo en el sentido del eje longitudinal de la rampa por 1 metro de ancho, como se muestra en la figura 42. Los colores rojo y blanco deben estar dentro del área definida por las coordenadas cromáticas presentadas en la tabla 3, con los coeficientes mínimos de reflexión.

**Figura 42**

*Marca para la zona de acceso a la rampa*



*Nota.* Dimensiones para la cuadrícula. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 11)

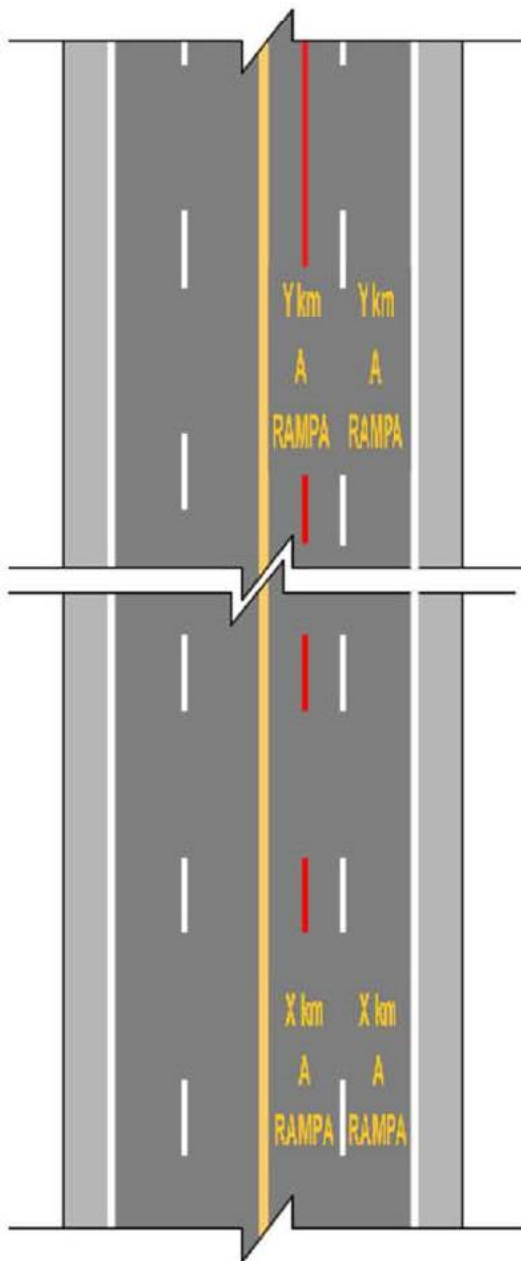
### 8.2.4. Leyenda para indicar la distancia a la rampa (M-14.4)

Se colocará sobre el pavimento, en todos los carriles, la leyenda "RAMPA A X-Y km" a una distancia de 2 kilómetros y un 1 kilómetro antes de llegar al acceso de la rampa de frenado. La leyenda debe ser pintada en color amarillo reflectante, como se

muestra en la figura 43 y debe seguir la tipografía de letras recomendadas para las marcas en el pavimento de carretera conforma a la normativa vigente del Ecuador. El color amarillo debe estar dentro de las coordenadas cromáticas mostradas en la tabla 25, para cumplir con los coeficientes mínimos de reflexión.

**Figura 43**

*Leyenda propuesta para el señalamiento horizontal*



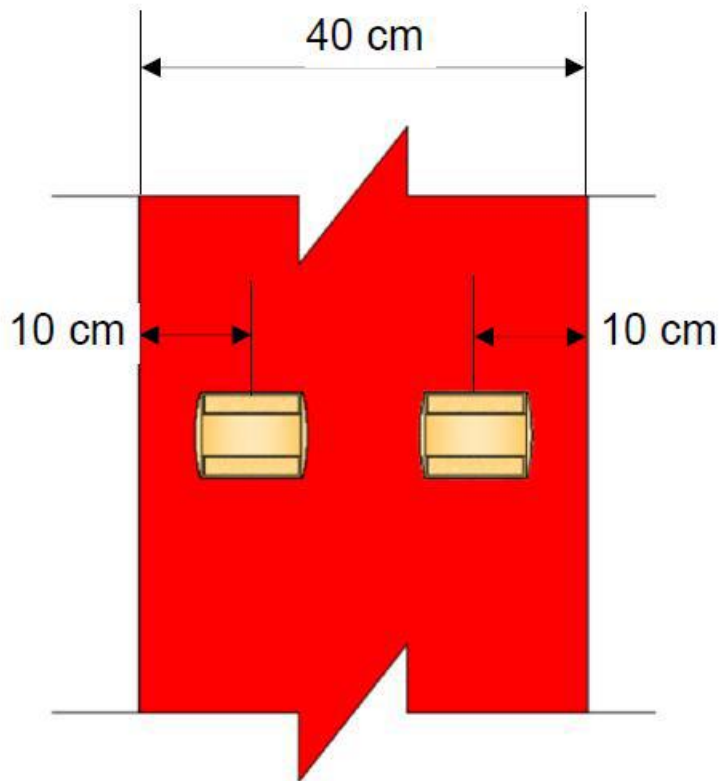
*Nota.* Se presenta la leyenda que indica la distancia a la rampa de frenado. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 11)

### 8.2.5. Botones Reflejantes

Como se mencionó anteriormente, las rayas de emergencia deben ser complementadas con botones reflectantes. Estos deben contener en la cara opuesta al sentido de circulación un reflejante de color rojo que cumpla con los criterios mínimos de los coeficientes de intensidad luminosa. Los botones se colocarán cada 15 metros de dos en dos, su disposición en la raya de emergencia será la mostrada en la figura 44.

**Figura 44**

*Ubicación de los botones reflectantes*



*Nota.* Se presentan las dimensiones en las cuales se colocarán los botones a partir de la raya de emergencia. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 15)



### 8.3. Señalamiento vertical

El señalamiento vertical comúnmente se clasifica según el papel que esta desempeñara en la vía. Según el Instituto Mexicano del Transporte (2022), se tiene los siguientes tipos de señales:

Restrictivas: para indicar prohibiciones o limitaciones físicas.

Preventivas: para prevenir sobre riesgos potenciales y su naturaleza.

Informativas: para guiar y proporcionar información relevante al usuario.

Turísticas y de servicios: para indicar lugares de interés turístico y servicios próximos.

De zona de obra: para regular el tránsito por la presencia de trabajos de construcción, modernización, rehabilitación, conservación o mantenimiento. (p. 39)

Cada tipo de señal está asociada a un color en específico con el propósito de facilitar a los usuarios la comprensión rápida y clara de los mensajes que se presentan en la señalética. Con lo antes mencionado se tiene que las señales restrictivas se identifican con el color rojo y las preventivas con el color amarillo, estas dos son las más importantes dentro del actual proyecto ya que, para la zona cercana a la rampa de frenado requiere de estas señales para indicar su presencia y complementar la información proporcionada.

**Figura 45**

*Ejemplo de señales restrictivas y preventivas*



*Nota.* Se presenta el esquema ejemplo de las señales que estarán alrededor de la rampa de frenado. Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 2022, p. 39)

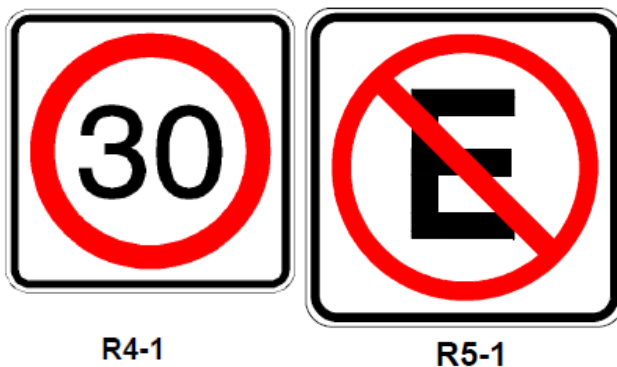
### 8.3.1. Señales restrictivas

Es necesario colocar en la Avenida Simón Bolívar las señales restrictivas R5-1 "No Estacionar", la ubicación de estas señales será la siguiente: Una en el acceso a la rampa de frenado, otra en el inicio de la cama de frenado y en la carretera se colocarán cuatro, la primera se ubicará a 500 metros antes del acceso a la rampa, las tres restantes tendrán una separación entre ellas de 150 metros con respecto a la primera.

En el tramo de pendiente descendente de la carretera, se instalarán las señales restrictivas R4-1 "Límite máximo de Velocidad" para indicar los límites máximos de velocidad para vehículos de carga, inferiores a 70 km/h.

**Figura 46**

*Representación de la señal R4-1 y R5-1*



*Nota.* Se presenta el esquema representativo de las señales no estacionar y límite máximo de velocidad a colocarse en el proyecto. Fuente: (RTE INEN 004-1:2011, p. 39-p. 41)

### 8.3.2. Señales preventivas

Se deben colocar señales preventivas P6-4 "Descenso Pronunciado", como se muestra en la figura 47. La ubicación de esta señal será al inicio del tramo donde se presente la primera pendiente descendente sostenida.

## Figura 47

### Señal preventiva P6-1



*Nota.* Se presenta el esquema representativo de la señal “Descenso Pronunciado” a colocarse en el proyecto. Fuente: (RTE INEN 004-1:2011, p. 76)

### 8.3.3. Señales informativas de destino

Para el proyecto se ha propuesto colocar dos señales informativas de destino SID-13, como las mostradas en la figura 48, una decisiva a la entrada de la zona de acceso hacia la rampa de frenado de emergencia y otra previa a 200 metros de la entrada antes mencionada.

Para complementadas la información de destino se colocarán dos señales informativas de destino previas SID-15 como se muestra en la figura 50, a 400 metros y otra a 700 metros de la entrada a la rampa, estas deben indicar el carril que han de utilizar los vehículos que se encuentren con problemas en el sistema de frenado del camión o auto.

**Figura 48**

*Señal informativa de destino SID-13*



*Nota.* Dimensiones en centímetros de la señal informativa de destino para rampas de frenado. Fuente: (Manual de Señalización Vial y dispositivos de Seguridad, 2014, p. 188)

**Figura 49**

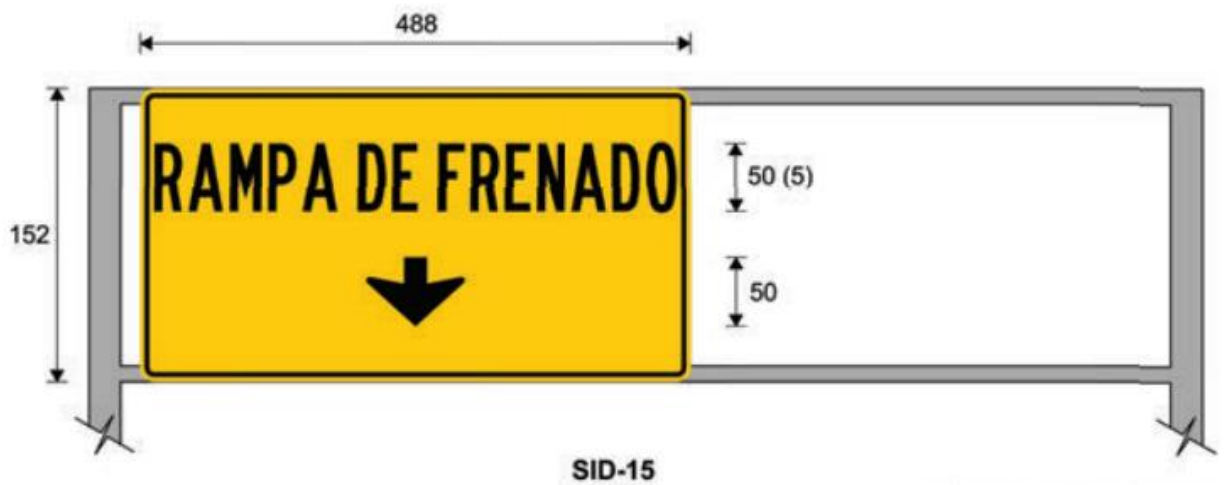
*Ejemplo real de la señal informativa de destino SID-13*



*Nota.* Señal informativa de destino decisiva colocada a la entrada de la rampa de frenado. Fuente: (Revista Transportes y Turismo, 2016)

**Figura 50**

*Señal informativa de destino SID-15*



*Nota.* Dimensiones en centímetros de la señal informativa de destino para rampas de frenado. Fuente: (Manual de Señalización Vial y dispositivos de Seguridad, 2014, p. 188)

**Figura 51**

*Ejemplo real de la señal informativa de destino SID-13*



*Nota.* Señal informativa de destino previa colocada metros antes de la entrada de la rampa de frenado. Fuente: (El Sol de Tijuana-Ángeles García, 2023)

#### **8.3.4. Señales informativas de recomendación**

Debido a las recomendaciones de la normativa mexicana, se colocarán en el tramo de estudio cuatro señales informativas de recomendación como las mostradas en la figura 52:

- Una con la leyenda “VEHÍCULO SIN FRENOS ALERTE CON LUCES Y CLAXON”, ubicada a 1100 metros del acceso hacia la rampa para frenado.
- Una con la leyenda “VEHÍCULO SIN FRENOS SIGA LA RAYA ROJA”, ubicada a 1000 metros del acceso hacia la rampa para frenado.
- Dos con la leyenda “CEDA EL PASO A VEHÍCULO SIN FRENOS”, la primera ubicada a 650 metros de la entrada a la rampa y la segunda a 900 metros del acceso hacia la rampa de frenado. Las señales deberán estar elevadas en puente, ya que el volumen del tránsito y la velocidad de operación de la Avenida Simón Bolívar es alto.

**Figura 52**

*Señales informativas de recomendación SIR*



*Nota.* Se presenta el esquema representativo de las señales informativas de recomendación que estarán colocadas en la Avenida Simón Bolívar. Fuente: (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-SCT2-2022, 2022, p. 16)

### **8.3.5. Señal de información general**

Se colocará una señal de información general SIG, como la mostrada en la figura 53, a 500 metros del acceso a la rampa de frenado, preferentemente en el sitio donde la raya roja continua M-14.2. vista en los anteriores apartados, la señal estará elevada en puente, debido al volumen del tránsito y la velocidad de operación de la vía en la cual se aplicará el proyecto.



**Figura 53**

*Señal de información general SIG*



*Nota.* Dimensiones en centímetros de la señal informativa general para rampas de frenado. Fuente: (Manual de Señalización Vial y dispositivos de Seguridad, 2014, p. 219)

**Figura 54**

*Ejemplo real de la señal informativa general SIG*



*Nota.* Señal informativa general colocada en la carretera CD México-Puebla. Fuente: (Revista Transportes y Turismo, 2017)

### **8.3.6. Señales adicionales y dispositivos diversos**

Se debe instalar la señal “obstrucción central en la vía” D5-1, como el mostrado en la figura 55, esta estará ubicada a un costado de la entrada hacia la rampa de frenado en la zona neutral formada por las rayas canalizadoras.



## Figura 55

Señal obstrucción central en la vía D5-1

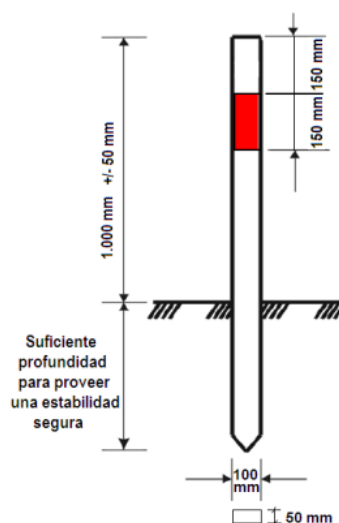


*Nota.* Esquema representativo de la señal de tránsito D5-1. Fuente: (RTE INEN 004-1:2011, p. 39-p. 41)

También es importante definir los bordes del lecho de frenado para indicar los límites laterales de uso seguro de la rampa, además, indican el alineamiento que tiene el lecho de frenado, por lo que se colocarán postes delineadores flexibles, como se muestra en la figura 56. Estos estarán cada 20 metros en ambos lados del lecho de frenado, desde el inicio hasta el final.

## Figura 56

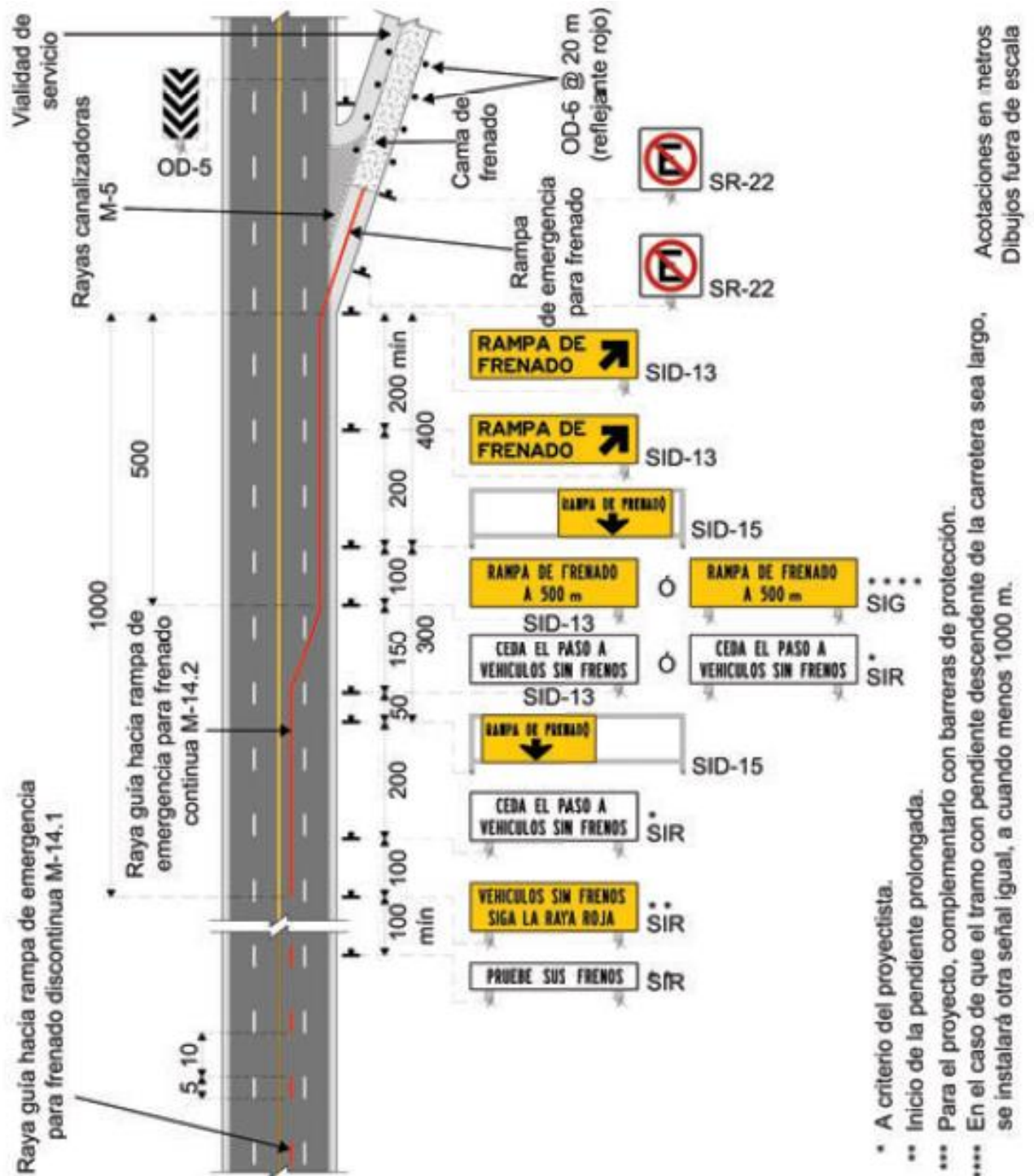
Poste delineador



*Nota.* Esquema representativo del poste delineador. Fuente: (RTE INEN 004-1:2011, p. 39-p. 41)

**Figura 57**

*Esquema del señalamiento horizontal y vertical para una vía de dos o más carriles*



*Nota.* Se presentan las distintas distancias guías en las cuales se debe colocar los elementos del señalamiento horizontal y vertical. Fuente: (Manual de Señalización Vial y dispositivos de Seguridad, 2014, p. 691)

## CONCLUSIONES

Mediante la realización del conteo manual realizado durante un periodo de 7 días consecutivos, abarcando 12 horas seguidas, se identificó que en la estación número 1 la hora pico ocurre entre las 17:00 pm y las 18:00 pm, con un promedio de 3556 vehículos transitando en dicho rango horario, en la estación número 2 la hora pico ocurre entre las 7:00 am y las 8:00 con un promedio de 3224 vehículos transitando en dicho rango horario.

Debido a la presencia de pendientes descendentes pronunciadas en el tramo del proyecto comprendido entre el colegio Ludoteca y el sector de La Loma de Puengasí de aproximadamente de 4.15 kilómetros, se verificó mediante el uso de la metodología GSRs (Grade Severity Rating System) que en este tramo se podrían presentar fallas en el sistema de frenado por lo cual se hace necesaria la implementación de una rampa de frenado justificando así su necesidad.

Mediante los cálculos analíticos se determinó la localización exacta donde debería implantarse la rampa de frenado de emergencia, siendo el kilómetro 7.95 del tramo del proyecto el ideal, en sentido sur-norte, el sector se denomina La Forestal Alta, como referencia se puede tomar a la empresa pública de EMASEO LA FORESTAL.

La rampa de frenado de emergencia que se planea implementar en la Avenida Simón Bolívar sector La Forestal Alta es de tipo ascendente con un contrapendiente del 5%, inclinación de entrada de 5°, la longitud total de la cama de frenado de 255 metros, con una zona de acceso de 70 metros, el ancho de la rampa de 10 m, con dos caminos de servicio uno a cada lado de 5 metros, la profundidad del lecho de frenado considerada fue de 0.10 metros llegando a 0.70 metros, el material considerado para la cama de frenado es gravilla suelta con diámetros varillas entre 5 mm a 10 mm por último para el drenaje y subdrenaje se consideró una tubería de PVC corrugada de 0.20 metros.

Mediante la implementación de la rampa de frenado de emergencia en la Avenida Simón Bolívar, los usuarios que hagan uso a diario o esporádicamente de la vía experimentarán una mejora significativa en el tema de seguridad vial y ganarán mayor confianza al transitar por este tramo de carretera. En situaciones de fallo mecánico en sus vehículos, la utilización de una rampa de frenado proporcionará una alternativa adicional de protección, brindándoles la posibilidad de salvaguardar sus vidas.

La rampa de frenado de emergencia al ser un dispositivo de seguridad está diseñada con el fin de disminuir el índice de accidentes, especialmente en vehículos pesados y hacer que la vía sea más segura. Beneficiando tanto al transporte de carga y en general a los usuarios al reducir las pérdidas materiales y económicas derivadas de los accidentes.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un estudio de suelos en la ubicación propuesta para la implementación de la rampa, con el fin de verificar las condiciones del suelo y comprobar si el suelo cumple con las condiciones mínimas para soportar la estructura.

Se debe garantizar el mantenimiento periódico del lecho de frenado para asegurar el rendimiento eficiente del material disipador de energía, de preferencia puede ser después de que un vehículo haya hecho uso de la rampa.

El material granular utilizado para disipar la energía debe cumplir con las especificaciones establecidas en este estudio, en ningún caso se puede sobrepasar los límites descritos por las normativas internacionales.

Antes de la implementación de la rampa de frenado se recomienda realizar el mantenimiento vial de la Avenida Simón Bolívar con el fin de mantener en condiciones óptimas la carpeta asfáltica y todos los elementos de señalamiento tanto vertical como horizontal, además se debe reforzar la iluminación en el sector en donde se desea emplazar la rampa

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2011). *A policy on geometric design of highways and streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agencia Nacional de Tránsito [ANT]. (2023, 7 de abril). *Visor de Siniestralidad Nacional*. <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>
- Calderón, L. y Palacios, S. (2006). *Propuesta de Rampa de Frenado para la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho Tramo Petare-Guarenas, Edo. Miranda* [Tesis de pregrado, Universidad José María Vargas]. Archivo digital. <https://www.yumpu.com/es/document/view/48324686/view-open-dspace-at-universia>
- Cárcamo, F. (2014). *Diseño de Rampas de Emergencia en Autopistas de México* [Tesis de pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/5724>
- Cobañas, P. (2004). *Sistemas de Contención Vehicular* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1751>
- Cotton de León, P. (2016). *Consideraciones para el Diseño de Rampas para Frenado de Emergencia en Carreteras* [Tesis de posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3328/>
- Dirección General de Servicios Técnicos. (2014). *Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad*.
- Echaveguren, T., y Vargas, S. (2013). Evaluación de la Necesidad de Lechos de Frenado en Pendientes Descendentes Usando Principios de Confiabilidad. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(3), 221–235. <http://doi.org/10.4067/S0718-50732013000300001>

- Echaveguren, T., Vargas, S., y Ñancufil, J. (2007). Metodología de Análisis y Diseño de Lechos de Frenado. *Revista Ingeniería de Construcción*, 22(3), 175–184. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732007000300004>
- García-Ramírez, Y. (2022). Rampas de Escape para Camiones en Carreteras: un Nuevo Procedimiento para Justificar su Necesidad y Estimar su Ubicación. *Revista Politécnica*, 49(2), 17–26. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.02>
- Gaviria, G. y Pimentel, G. (2016). *Rediseño de la Rampa de Frenado en la Autopista Regional del Centro en el tramo de Tazón a la altura del CORE N° 5 en Caracas* [Tesis de pregrado, Universidad Nueva Esparta]. <http://miunespace.une.edu.ve/jspui/handle/123456789/2883>
- Gil Pascual, J.A. (2011). *Técnicas e Instrumentos para la recogida de información*. Madrid: UNED.
- Gutiérrez, J. y 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* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9391>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2022). *Recomendaciones de seguridad vial para rampas de emergencia para frenado en carreteras*. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt708.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical*.
- Matute, J. y Santos, A. (2021). *Manual Técnico para el Desarrollo y Construcción de Rampas de Frenado de Emergencia (R.F.E.) Aplicado a las Carreteras De*

- Honduras* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Centroamericana].  
<https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/10167>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (2017). *Manual de Seguridad Vial R.D.N°05-2017-MTC/14*.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_2%20SV-2017.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_2%20SV-2017.pdf)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (2016). *Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras*.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_6%20DCT-2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_6%20DCT-2016.pdf)
- Ministerio de Obras Públicas del Chile. (2019). *Manual de Carreteras*.  
<https://www.mop.gob.cl/serviciosmop/manual-de-carreteras/>
- Ramírez, J. (2016). *Diseño de Rampas de Emergencia para Frenado en Carreteras* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México].  
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/10130>
- Regalado, E y Salazar, R. (2021). *Propuesta de Diseño de una Zona de Frenado de Emergencia en el Cantón Girón* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21430>
- Reyes, J. (2004). *Proyecto ejecutivo de una rampa para frenado de emergencia, ubicada en el Km 86+480 del C.D. Pátzcuaro-Uruapan* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México].  
[https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000335310](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000335310)
- Valencia, M. (2021). *Diseño de Rampa de Frenado Según Norma AASHTO 2011 para la Reducción de Velocidad en la Carretera Central Margen Derecha* [Tesis de



pregrado, Universidad Peruana Los Andes].

<https://hdl.handle.net/20.500.12848/3109>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Rampa de frenado:** Es una zona de emergencia que se sitúa junto a la vía y se diseña específicamente para vehículos con problemas en el sistema de frenados.

**Lecho de frenado:** Espacio de la rampa de frenado que contiene el material granular, el cual se encarga de disipar la energía del vehículo.

**Zona de acceso:** Estructura que se ubica en el principio de la rampa de emergencia, tiene características especiales que permiten la reducción de velocidad de forma segura.

**Velocidad máxima de descenso:** Es la velocidad con la que un vehículo puede descender por una pendiente pronunciada de manera segura sin perder el control del vehículo.

**Fatiga de los frenos:** Falla que se produce en los frenos por su uso excesivo, la situación más común de esta falla ocurre cuando un vehículo circula a altas velocidades en pendientes descendentes.

## **ANEXOS**

Se entrega en formato pdf para biblioteca.