

GUÍA PARA IMPLEMENTAR REDUCTORES DE VELOCIDAD EN VÍAS
URBANAS Y RURALES. APLICACIONES EN POPAYÁN

FABIÁN ANDRÉS RUIZ SOLARTE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2023

GUÍA PARA IMPLEMENTAR REDUCTORES DE VELOCIDAD EN VÍAS
URBANAS Y RURALES. APLICACIONES EN POPAYÁN

FABIÁN ANDRÉS RUIZ SOLARTE

*Informe final de trabajo de grado como requisito para optar al
título de Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres, modalidad
profundización*

Director: PhD José Fernando Sánchez Ordóñez

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2023

Nota de aceptación:

Firma del director del trabajo de
grado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, 11 de diciembre de 2023

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de grado a nuestro señor Jesucristo, por permitirme con su luz y por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres Franco y Leonor, por estar a mi lado, quienes con su amor y motivación, hicieron todo más fácil para avanzar.

También a mis hermanos Carlos, Diego y Lorena y a mi compañero de clases Diego Guerrero, quienes me alentaron a seguir adelante.

Agradecimientos

Gracias a Dios que con su luz y fortaleza logré llegar a esta etapa. A mi tutor PhD José Fernando Sanchez Ordoñez, sin usted, sin sus aportes que fueron muy útiles, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese culminado. Cada paso que contó con su visto bueno, fueron acertados en el documento final, gracias por sus orientaciones.

A los docentes de la Universidad del Cauca, en especial a los ingenieros Nelson Rivas y Efraín Solano, quienes en sus clases lograron inspirar esta idea, que ha culminado con la presentación de la guía como requisito para obtener el grado de Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres.

A mis padres, quienes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y proyectos, quienes estuvieron en muchas ocasiones pendientes en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amados padres, como una meta más y un paso más en este arduo camino del conocimiento.

A mis hijos, haciendo parte de mi vida y que me inspiran cada día.

A mis amigos y compañeros de la maestría, no olvidaré cuantas horas de trabajo aprendimos y compartimos conocimientos para culminar nuestros trabajos de grado.

CONTENIDO

	Pág
Introducción	15
1. Descripción del problema	17
2. Justificación	19
3. Objetivos	20
3.1. Objetivo principal	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. Marco Teórico	21
4.1. Pacificación del tráfico	21
4.1.1. Metas	21
4.1.2. Objetivos	21
4.2. Medidas para la pacificación del tránsito	22
4.2.1. Medidas según literatura internacional	22
4.2.2. Medidas mediante la implementación de dispositivos según el Manual de Señalización del 2.015	33
4.2.3. Proyecto de pacificación del tráfico.	40
4.2.4. Etapas del plan de pacificación del tráfico.	41
4.3. Demanda vehicular y oferta vial	41
4.4. Factores que intervienen en un problema del tránsito.	42
4.4.1. Diferentes modalidades de transporte que circulan en la misma vía.	42
4.4.2. Diseños deficientes sin tener en cuenta la caracterización del tránsito.	42
4.4.3. Deficiente planificación del tránsito.	43
4.4.4. Deficiencia en la evaluación del transporte público y el privado.	43
4.4.5. Falta de generación de políticas de transporte.	43
4.5. Tipos de Solución	43
4.6. Bases para una solución	44
4.7. Metodología para encontrar una solución	44
4.8. Distancia para detener un vehículo (Dp)	44
4.9. Distancia Visual de Decisión (VSD)	45
4.10. Dispositivo resalto parabólico	47
4.10.1. Teoría del resalto parabólico	49
4.10.2. Velocidad de diseño	50
4.11. Señalización Internacional	53
4.12. Señalización Colombia	54
4.13. Conflicto vehículos - peatones	54
4.14. Drenaje de la corona	55
5. Metodología	58
5.1. Recolección de información secundaria	58

5.1.1.	Solicitud por parte de la comunidad de la problemática o evaluación de la entidad de un punto de siniestralidad.	58
5.1.2.	Estudio técnico de ingeniería de tránsito recomendado por el Manual de señalización 2015.	58
5.1.3.	Aprobación del proyecto para iniciar el proceso de contratación y/o construcción del dispositivo.	59
5.1.4.	Respuesta por parte de la Secretaría de Tránsito.	60
5.2.	Revisión del diseño de reductores (Información Secundaria)	60
5.2.1.	Estudio de ingeniería de tránsito:	60
5.3.	Vías seleccionadas para estudiar:	61
5.3.1.	Carrera 5A con Carrera 57 - Ingreso a la Vereda Pisojé Alto.	61
5.3.2.	Calle 78 entre carrera 9 y variante.	61
5.4.	Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales	61
5.4.1.	Revisar la literatura internacional.	62
5.4.2.	Adopción de los estudios aplicados en otros países y propuesta de mejoras.	62
5.4.3.	Elaboración de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales.	63
5.5.	Aplicación de la guía a dos casos en la ciudad de Popayán	67
5.6.	Ajustes de la Guía.	68
6.	Resultados	69
7.	Análisis de los resultados	71
8.	Recomendaciones	72
9.	Conclusiones	74
	Referencias Bibliográficas	75

LISTA DE TABLAS

	Pág
1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C. 2018.	45
2. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C. 2018.	46
3. Velocidad de Diseño	51
4. Dosificación de la red vial urbana	52
5. Malla vial de Santiago de Cali	52
6. Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág
1. Badén	22
2. Chicanes	23
3. Cojines	23
4. Cruce de cuatro brazos o cuatro pares	23
5. Entradas	24
6. Estrechamientos	24
7. Estrechamiento Diagonal	24
8. Extensión del andén	25
9. Gargantas	25
10. Intersecciones realzadas	25
11. Mesetas y cruces peatonales realzados	26
12. Orejas y martillos	26
13. Refugios para peatones	27
14. Resalto	27
15. Tachones y bordillos	27
16. Franjas con estoperoles	28
17. Bandas sonoras	28
18. Bandas transversales de alerta	28
19. Pavimento táctil	29
20. Sonorizadores	29
21. Bandas reductoras de velocidad	29
22. Bolardos	30
23. Delimitador de la calzada	30
24. Resaltos portátiles	30
25. Tope reductor de velocidad easy rider	31
26. Tope reductor de velocidad safety rider	31
27. Control de velocidad de cruce adaptativo	31
28. Sistemas de adaptación inteligente de la velocidad	32
29. Ilusión óptica	32
30. Líneas reductoras de velocidad	32
31. Pintura con textura	33
32. Resalto virtual	33
33. Resalto trapecoidal o pompeyano	33
34. Resalto parabólico o circular	34
35. Resalto portátil	34
36. Resalto tipo cojín	34
37. Bandas alertadoras transversales	35
38. Bandas alertadoras longitudinales	36
39. Islas peatonales	37
40. Paso cebra en tramo de vía	37
41. Paso peatonal regulado por semáforo con isla peatonal	38
42. Paso peatonal regulado por semáforo sin isla peatonal	38
43. Achurados	39

44.	Distanciadores	40
45.	Reductor watts. Traffic Calming: State of the practice ITE/FHWA. 1999 . . .	47
46.	Reductor seminole. Traffic Calming: State of the practice ITE/FHWA. 1999 .	48
47.	Resalto Circular	48
48.	Resalto Trapezoidal o Pompeyano	49
49.	Diferentes Perfiles RV	50
50.	Categoría de carreteras	51
51.	Modelo Señalización MUTCD	53
52.	Modelo Señalización Colombia.	54

GLOSARIO

- **Andén:** parte de la vía dedicada al tránsito de peatones de forma segura.
- **Autopista:** vía especialmente diseñada para velocidades mayores o iguales a 80 km/h para altas velocidades de operación con los sentidos de flujos aislados por medio de separadores físicos, sin intersecciones a nivel y con control total de accesos y salidas.
- **Bicicleta:** vehículo no motorizado de dos (2) o más ruedas en línea, el cual se desplaza por el esfuerzo de su conductor y/o pasajeros.
- **Bus:** vehículo automotor destinado al transporte colectivo de personas y sus equipajes, debidamente registrado conforme a las normas y características especiales vigentes.
- **Calle, carrera o transversal:** vía urbana de tránsito público, que incluye toda la zona comprendida entre los linderos frontales de las propiedades.
- **Calle colector:** vía urbana de vocación pública que comunica las calles locales con calles principales.
- **Calle local:** vía urbana de vocación pública que permite el acceso directo a zonas residenciales, comerciales e industriales.
- **Calle principal:** es el acceso o accesos de una calzada en una intersección que normalmente tiene el volumen mayor de tránsito.
- **Calle secundaria:** es el acceso o accesos de una calzada en una intersección que normalmente tiene volumen menor de tránsito.
- **Calzada:** zona de la vía destinada a la circulación de los vehículos.
- **Camión:** vehículo automotor que por su tamaño y destinación se usa para transportar carga.
- **Carretera:** vía en zonas no urbanas diseñada para el tránsito de vehículos terrestres automotores.
- **Carril:** parte de la calzada que puede acomodar una sola fila de vehículos de cuatro o más ruedas.
- **Cebra:** demarcación de franja peatonal en forma de una sucesión de líneas sobre la calzada paralelas a los carriles de tránsito vehicular; sirve para indicar la trayectoria que debe seguir el peatón al atravesar la vía e indicar a los conductores el lugar donde puede haber peatones.
- **Ciclista:** conductor de bicicleta o triciclo.
- **Ciclovía:** vía destinada al uso exclusivo de bicicletas que se encuentra segregada físicamente del tránsito de vehículos motorizados.
- **Cicloparqueadero:** parqueadero exclusivo para bicicletas.

- **Ciclo vía:** vía destinada al uso exclusivo de bicicletas que se encuentra segregada físicamente del tránsito de vehículos motorizados.
- **Ciclobanda:** carril o sector de la calzada o acera segregada del tránsito vehicular o peatonal por demarcación u otros dispositivos de señalización.
- **Ciclocalle:** calle que integra parte de una ciclorruta donde circulan las bicicletas junto a otros vehículos motorizados y/o peatones
- **Ciclorruta:** red de vías para la circulación de bicicletas compuesta por Ciclo vías, Ciclobandas y Ciclocalles.
- **Cruce o intersección de vías:** área formada por la intersección de dos (2) o más vías.
- **Demarcación:** líneas, flechas, símbolos y letras que se aplican o adhieren sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, con el fin de regular, advertir e informar a los usuarios y canalizar el tránsito.
- **Dispositivo para la regulación de tránsito:** es cualquier señal, demarcación, semáforo o cualquier otro dispositivo usado para regular, advertir, o guiar el tránsito, colocados encima o adyacente a una calle, carretera o autopista o vía peatonal, público o privado con autorización de la entidad a cargo de la vía.
- **Distancia de visibilidad mínima:** mínima distancia entre una señal o un dispositivo y un conductor promedio que se aproxima a ella a la velocidad máxima permitida y que le otorga el tiempo suficiente para distinguirla, leerla, entenderla y reaccionar apropiadamente.
- **Hidroplaneo:** es un fenómeno en el cual un vehículo sufre una pérdida de tracción y conlleva a la pérdida de control del mismo. La ocurrencia del fenómeno sucede cuando el vehículo excede la velocidad cuando la superficie cuenta con una película de agua.
- **Intersección:** área general donde dos o más vías se unen o crucen, ya sea a nivel o desnivel lo que comprende toda la superficie necesaria para facilitar todos los movimientos de los vehículos que se cruzan por ellos.
- **Isla peatonal:** diseño geométrico sobre la calzada que permite otorgar a los peatones una zona protegida.
- **Microbús:** vehículo destinado al transporte de personas con capacidad de 10 a 19 pasajeros.
- **Paso peatonal a nivel:** zona de la calzada delimitada por dispositivos y áreas especiales con destino al cruce de peatones.
- **Paso peatonal a desnivel:** puente o túnel diseñado especialmente para que los peatones atraviesen una vía.
- **Peatón:** persona que transita a pie por una vía.

- Radio de giro: radio del arco de la curva que describe la rueda delantera exterior de un vehículo en el transcurso de una maniobra de viraje.
- Resalto circular o parabólico: Dispositivo que cumple la función de reducir la velocidad de los vehículos que circulan por la calzada. A nivel internacional se conocen como speed hump (reductor tipo joroba).
- Señalización: conjunto de señales destinado a regular el tránsito.
- Tráfico: volumen de vehículos, peatones, o productos que pasan por un punto específico durante un periodo determinado.
- Tráfico Calmado: Intervenciones compuestas por dispositivos, señalización vertical y horizontal, diseños innovadores, ordenamiento y políticas públicas, que permitan moderar la velocidad de paso de los vehículos que circulan por una vía.
- Urbanismo público: Se refiere a la planificación y gestión del desarrollo urbano por parte de entidades gubernamentales o públicas. El urbanismo público implica la formulación y aplicación de políticas, normativas y estrategias para guiar el crecimiento y la organización de áreas urbanas.
- Vehículo: artefacto montado sobre ruedas que sirve para transportar personas, animales o cosas.
- Velocidad 85 % o velocidad del percentil 85 %: es la velocidad a la que transitan el 85 % de los vehículos automotores en un tramo de vía.
- Velocidad de diseño: velocidad seleccionada para proyectar y relacionar entre sí las características físicas de una vía que influyen en la marcha de los vehículos.
- Velocidad de operación: velocidad promedio que desarrollan el 85 % de los usuarios en un tramo determinado de una vía.
- Velocidad recomendada: una velocidad recomendada para todos los vehículos transitando por el tramo y se basa en el diseño de la vía y las características y condiciones presentes.
- Vía: zona de uso público o privado abierta al público destinada al tránsito de público, personas y/o animales.
- Vía arteria: vía de un sistema vial urbano con prelación de circulación de tránsito sobre las demás vías, con excepción de la vía férrea y la autopista.

(Manual Señalización INVIAS, 2015)

RESUMEN

El reductor de velocidad parabólico y circular (tipo joroba) por muchos años ha sido el dispositivo líder para disminuir la velocidad de los vehículos en las calles, el cual ha sido aplicado como medida para calmar el tráfico, sin embargo, el uso indiscriminado y no cumplir con una metodología de diseño generó resistencia en los usuarios de la vía.

El presente trabajo de profundización va encaminado a proponer una guía, o un instructivo para tomar una decisión acertada en el diseño de un dispositivo que permita reducir la velocidad vehicular en las vías colombianas; considerando que los resaltos parabólicos generalmente son requeridos por la comunidad, para lo cual se debe realizar un estudio técnico para avalar su construcción.

Con el fin de evaluar la efectividad de la GUÍA PARA IMPLEMENTAR REDUCTORES DE VELOCIDAD EN VÍAS URBANAS Y RURALES, se desarrollaron dos ejercicios prácticos en la ciudad de Popayán, uno en la zona rural y otro en la zona urbana. De dicha actividad se obtuvieron resultados, los cuales se evaluaron y son la base para proponer algunas mejoras.

ABSTRACT

The parabolic and circular speed reducer (hump type) for many years has been the leading device to reduce the speed of vehicles on the streets, which has been applied as a measure to calm traffic, however, indiscriminate use and not Complying with a design methodology generated resistance from road users.

The present in-depth work is aimed at proposing a guide, or instructions to make a correct decision in the design of a device that allows reducing vehicle speed on Colombian roads; considering that parabolic jumps are generally required by the community, for which a technical study must be carried out to endorse their construction.

In order to evaluate the effectiveness of the GUIDE TO IMPLEMENT SPEED REDUCERS ON URBAN AND RURAL ROADS, two practical exercises were developed in the city of Popayán, one in the rural area and the other in the urban area. Results were obtained from this activity, which were evaluated and are the basis for proposing some improvements.

INTRODUCCIÓN

La velocidad es uno de los criterios de diseño que define cada uno de los parámetros de la vía, además, su entorno ya sea rural o urbano es determinante, ya que dicha percepción obedece a la actividad económica del sector, tránsito, geometría, tipo de pavimento, señalización, entre otras; el incremento de la velocidad de los automotores y el conflicto entre los usuarios de la vía suele terminar en siniestralidad, esto nos lleva a pensar en técnicas de pacificación, en síntesis se hace necesario que el vehículo disminuya la velocidad en tramos muy cortos, para lo cual, se hace indispensable un estudio de tránsito con el fin de tomar una decisión que mejore las condiciones de seguridad vial en un tramo vial. (Baez y Montañez, 2010).

El objetivo del reductor es disminuir la velocidad de operación de los vehículos y conlleva a mitigar la siniestralidad, sin embargo, un diseño deficiente que no tenga en cuenta la desaceleración y la aceleración del vehículo durante el paso del dispositivo, puede generar ruido, vibraciones y daños en los pavimentos.

Según el Manual de señalización INVIAS 2015, para la construcción de un resalto, se requiere siempre de un estudio de ingeniería de tránsito que demuestre la conveniencia de su instalación y el tipo de resalto a utilizar. El estudio técnico de ingeniería debe contener como mínimo:

- Estudio de volúmenes y composición vehicular.
- Estudio de volúmenes peatonales.
- Estudio de velocidades.
- Análisis de diseño geométrico.
- Análisis de siniestralidad.
- Determinación del sitio de ubicación del resalto.

La entidad del estado o quien se encuentre a cargo de la vía debe autorizar su construcción, verificar que se haya instalado la señalización vertical y horizontal complementaria reglamentada, antes de dar al servicio el resalto. (Manual Señalización INVIAS, 2015)

La construcción de las obras en algunas ocasiones es el resultado de elegir el proyecto de menor costo, en algunos casos sin ni siquiera contar con estudios técnicos. La instalación del dispositivo se convierte en una determinación sin restricciones, asumiendo que su implementación lleve a “solucionar” un problema relacionado con la velocidad.

Los reductores de velocidad son el resultado de la desconfianza del ser humano, la problemática se convierte en algo cultural de su comportamiento en la vía. (Alejandro, 2014), la propuesta actual va dirigida a pensar en educación vial, en cuanto a la conducta de las personas en los entornos urbanos, se nota que los cambios desencadenan impactos que pueden terminar en cambios favorables en su modo de actuar.

El trabajo de profundización tiene como título “Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales. Aplicaciones en Popayán”, se concluye como una pro-

puesta para contar con elementos que permitan la aprobación de la construcción de reductores de velocidad como ejercicio de pacificación del tráfico. Debe contener como mínimo los siguientes estudios:

- Estudio de tránsito.
- Diseño geométrico.
- Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical.
- Revisión paisajista del sector.
- Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroplaneo o el efecto del dispositivo.
- Diseño de pavimentos.

En conclusión, se busca desarrollar una metodología para la toma de acciones que permitan una convivencia acertada entre los diferentes usuarios de una vía, siempre apuntando a criterios técnicos adecuados, así como tecnologías que ya han sido probadas con éxito.

1. Descripción del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los traumatismos por siniestros de tránsito constituyen una de las principales causas de muerte y discapacidad en todo el mundo; cada año provocan la muerte de aproximadamente 1,3 millones de personas y causan lesiones a 50 millones de personas. Son la principal causa de mortalidad entre los niños y los jóvenes de cinco a 29 años. Una de cada cuatro defunciones por esta causa afecta a peatones y ciclistas. (OPS Y OMS. *7ma Semana Mundial de la ONU para la Seguridad vial 2023. 15 - 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://www.paho.org/es/campanas/7a-semana-mundial-onu-para-seguridad-vial-2023>*)

En Colombia en el año 2022 se registraron 8.469 víctimas fallecidas y lesionadas valoradas por el Instituto nacional de medicina legal y en el año 2020 se registraron 5.641 víctimas fallecidas y lesionadas, a pesar de ser un año atípico en el que se presentaron grandes restricciones a la movilidad; esto generó una disminución de 1.185 víctimas con respecto al año 2019 en el cual se registraron 6.826 víctimas.

El Observatorio Nacional de Seguridad Vial de la Agencia Nacional de Seguridad Vial, en su reporte del año 2022, muestra lo siguiente:

- El 59.6 % de las víctimas usuarios de motocicletas.
- El 22.0 % de las víctimas fueron peatones.
- El 11.9 % de las víctimas fueron usuarios de automotores.
- El 5.5 % de las víctimas usuarios de bicicleta.

La Agencia de Seguridad Vial reporta 6.151 víctimas fallecidas y lesionadas con corte al mes de septiembre de 2.023, entre ellos:

- 3.821 motocicletas.
- 1.273 peatones.
- 438 con transporte individual.

(ASN. *Observatorio nacional de seguridad vial. <https://www.ansv.gov.co/>. 24 de noviembre de 2023*)

Como se puede apreciar, la siniestralidad relacionada con peatones es representativa ocupando el segundo lugar en los datos estadísticos, lo que pone de manifiesto la importancia de estudiar la velocidad de los vehículos, que genera conflictos con el peatón.

Una de las soluciones consiste en implementar la pacificación del tránsito “Traffic Calming”, siendo el proyecto de mayor implementación a nivel internacional las deflexiones verticales en donde el reductor de velocidad tipo resalto parabólico o circular “speed hump” ha arrojado resultados positivos. (Parkhill, Sooklall, y Bahar, 2007)

Sin embargo, en algunos casos la construcción de este reductor de velocidad ha generado siniestros viales, lo cual llama la atención ya que debería ser una solución efectiva; al analizar los motivos, se concluye que el diseño del dispositivo presenta inconvenientes desde el punto de vista de la seguridad vial (señalización vertical y horizontal), mala ubicación en el trazado vial (implementación en curvas horizontales y curvas verticales

convexas con baja visibilidad), mal estado del pavimento, problemas en el drenaje, y otros, que al sumarlos llevan a un deterioro en la seguridad vial.

Esta problemática debe evaluarse de forma integral, revisando los estudios que se realizan para implementar un reductor de velocidad, analizando el comportamiento de los usuarios, y buscando disminuir la velocidad de manera efectiva en zonas con circulación de peatones y demás que se consideren vulnerables, para ello se hace necesario crear políticas públicas claras, la autoridad legal, la constitucionalidad y la responsabilidad extracontractual son las cuestiones legales que rodean una decisión de este tipo, además, de una metodología que permita evaluar la zona en estudio y determinar el tipo de solución de esa calle en específico. (Ewing, 1999)

2. Justificación

Una mala selección del tipo de reductor de velocidad, ubicado en el lugar equivocado, sin la adecuada señalización (horizontal y vertical) no cumple con su función, por ello se hace necesario medir su efectividad, ya que su implementación realmente busca la reducción de la velocidad del automotor, permitiendo la protección de los peatones que desean cruzar la vía en el lugar establecido para tal fin.

El clima genera problemas de visibilidad del conductor con respecto a la rampa, que debe solucionarse indicando por medio de una excelente señalización, de igual forma, el manejo inadecuado del drenaje y una mala localización del resalto hace que en algunos casos se convierta en un dique, en donde el vehículo puede perder el control fácilmente, por lo tanto, se debe realizar una revisión de la geometría de la vía y de la geometría del elemento de tal forma que no se convierta en un obstáculo para el drenaje realizando una revisión hidráulica que conlleve a una eficiente evacuación de las aguas lluvias.

El estado del pavimento es otro factor que incide en la seguridad vial, al instalar resaltos (tipo tope, parabólico, circular o trapezoidal) y con el tiempo al realizar una revisión visual se logra evidenciar un mayor deterioro en la franja de frenado generado por la disminución de velocidad en un tramo muy corto hasta llegar frente al dispositivo, de igual forma en el sector de aceleración del vehículo al alejarse del elemento; esta problemática de diseño de pavimentos, nos indica que debemos definir un modelo estructural y una metodología que represente las condiciones de baja velocidad de los vehículos, con respecto a las condiciones generales de todo el tramo de vía.

Un factor que es difícil de evaluar, pero se hace necesario ser tenido en cuenta es el componente social y psicológico, lo que se conoce como percepción de seguridad por parte de los adultos mayores, quienes ven el riesgo eminente con el paso de los vehículos cercanos a su barrio o su calle, conllevando a solicitar la construcción del resalto como una oportunidad de mejorar la tranquilidad del sector. Esta percepción se convierte en una solicitud por parte de la comunidad, algunos casos pueden terminar en una decisión política y es más grave si se toma sin un estudio previo, desconociendo el arte del diseño de un reductor de velocidad, más aún este tipo de reductores contruidos de esa forma hacen que la comunidad perciban una improvisación en la construcción que conlleva a convertir una calle normal en una calle con problemas en seguridad vial, ya que en su parte integral el elemento sencillamente se construye sin tener en cuenta, cada uno de los estudios que deben llevarse para tomar una buena decisión.

Más aún es difícil evaluar el comportamiento del conductor, que de igual forma debe estudiarse, e intentar llegar a un perfil psicológico. De esta forma lograr determinar cuál es la mejor geometría del reductor de velocidad, que conlleve a disminuir el riesgo de siniestralidad al pasar por éste. (Ziolkowski, 2014)

3. Objetivos

3.1. Objetivo principal

- Elaborar una guía que contenga los estudios necesarios para la implementación del reductor de velocidad y con ella realizar aplicaciones en vías del sector urbano y rural.
- Aplicar la guía en su versión cero en dos casos en el municipio de Popayán: uno en zona urbana y uno en zona rural.

3.2. Objetivos específicos

- De acuerdo con la metodología vigente en Colombia sobre los estudios para implementar reductores de velocidad (Manual de Señalización del INVIAS 2.015), proponer un procedimiento para evaluar la solicitud del dispositivo, que permita la aprobación de éste por parte del ente gubernamental (ITE, 2016).
- Estudiar literatura o casos similares de otros países, proponer mejoras a la metodología vigente en Colombia que deben quedar incluidas en la “Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales”.
- Proponer una lista de chequeo de los parámetros básicos, para el diseño del pavimento en la zona de implementación del dispositivo.

4. Marco Teórico

El presente capítulo es un compendio de la literatura nacional e internacional relacionada con los tipos de reductores de velocidad, así como su uso, aplicación y funcionamiento.

4.1. Pacificación del tráfico

El Institute of Transportation (ITE) New England Section Technical Committee (Instituto de Ingenieros de Transporte - Sección Nueva Inglaterra - Comité Técnico), define tráfico calmado como *“la combinación de medidas principalmente físicas, que reducen los efectos negativos del uso de vehículos motorizados, que alteran el comportamiento del conductor y mejoran las condiciones de usuarios de la calle.”* (ITE, 2016).

El ITE buscando no entrar en ambigüedades, presenta una definición más amplia y es la siguiente:

“La moderación del tráfico implica la planificación, el diseño y la implementación de dispositivos de control de tráfico autoaplicables o características de diseño geométrico/paisajístico, con características en las vías públicas, para reducir las velocidades de desplazamiento de los usuarios motorizados de la calle y hacerlos más conscientes de las necesidades de circulación de los no motorizados usuarios de la calle. Las medidas para calmar el tráfico fomentarán la actividad física dentro de un vecindario o en una calle de manera que mejoren la salud, la seguridad y la calidad de vida de los residentes y visitantes del vecindario. Solo en raras circunstancias se deben utilizar medidas para calmar el tráfico para desviar los volúmenes de tráfico y solo cuando las desviaciones del volumen de tráfico sean ampliamente aceptables. Las medidas implementadas para calmar el tráfico deben cumplir con las leyes y regulaciones federales y estatales aplicables (por ejemplo, ADA, AASHTO, MUTCD) y las pautas de diseño.” (ITE, 2016)

Un proyecto de pacificación del tránsito se lleva a cabo desde el componente técnico, comunicacional y participativo, los cuales interactúan simultáneamente durante las etapas del proyecto: planeación, implementación y seguimiento y monitoreo, bajo la mirada de un enfoque integral.

4.1.1. Metas

1. Mejorar la calidad de vida de la comunidad.
2. Reducir la siniestralidad en las vías.
3. Generar seguridad de la zona en estudio.
4. Contribuir en la armonía entre todos los usuarios de la calle y su entorno. (ITE, 2016)

4.1.2. Objetivos

1. Aumentar el nivel de respeto hacia los peatones.

2. Crear una sensación de seguridad para todos los usuarios y colindantes.
3. Mejorar la seguridad y comodidad para todos los usuarios.
4. Reducir los choques.
5. Reducir el ruido.
6. Proporcionar espacio para uso peatonal.
7. Reducir la velocidad vehicular.
8. Reducir la necesidad de aplicación de multas.
9. Eliminar/reducir el tráfico directo.
10. Reducir los volúmenes de camiones. (ITE, 2016)

4.2. Medidas para la pacificación del tránsito

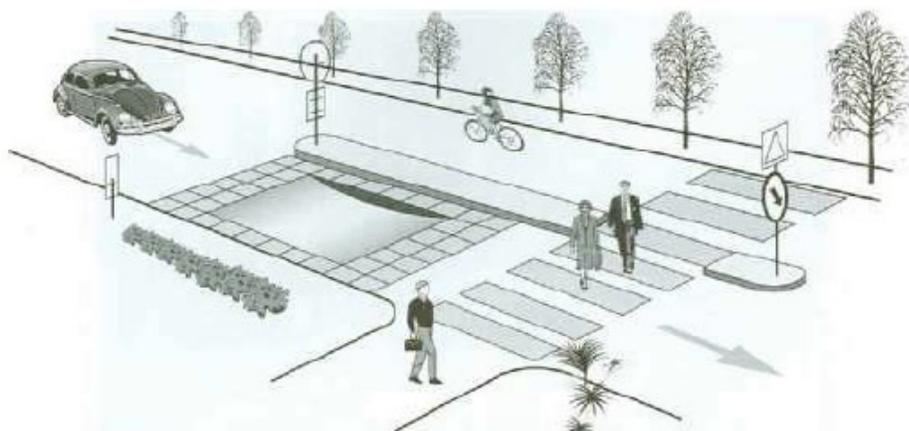
A continuación se enumeran algunos dispositivos que se pueden diseñar en la literatura encontrada a nivel internacional (Baez y Montañez, 2010):

4.2.1. Medidas según literatura internacional

■ Medidas que alteran la geometría

1. Badén

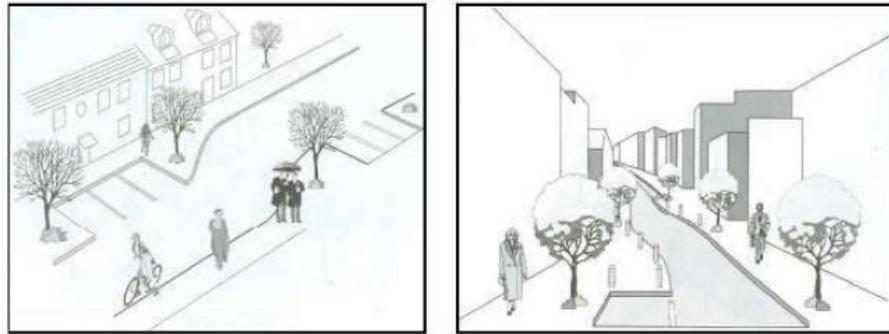
Figura 1: Badén



Fuente: La pacificación del tránsito calmado. Gloria Lucia Muñoz y Rodrigo Salazar

2. Chicanes

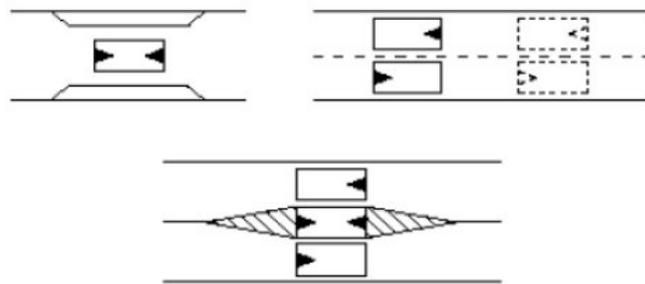
Figura 2: Chicanes



Fuente: La pacificación del tránsito calmado. Gloria Lucia Muñoz y Rodrigo Salazar

3. Cojines

Figura 3: Cojines



Fuente: Cojines. CONASET - GOBIERNO DE CHILE

4. Cruce de cuatro brazos y cuatro pares

Figura 4: Cruce de cuatro brazos o cuatro pares



Fuente: Escuela andina de automovilismo

5. Entradas

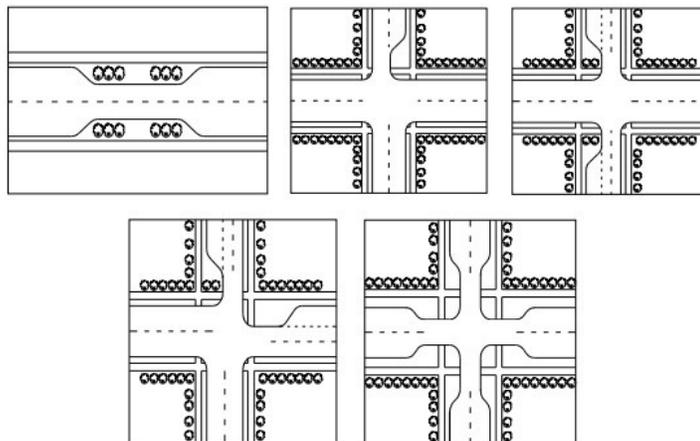
Figura 5: Entradas



Fuente: Traffic Calming Treatments

6. Estrechamientos

Figura 6: Estrechamientos



Fuente: CONASET - GOBIERNO DE CHILE

7. Estrechamiento diagonal

Figura 7: Estrechamiento Diagonal



Fuente: ITE

8. Extensión del andén

Figura 8: Extensión del andén



Fuente: Traffic Calming Treatments

9. Gargantas

Figura 9: Gargantas



Fuente: Secretaria distrital de movilidad de Bogotá

10. Intersecciones realizadas

Figura 10: Intersecciones realizadas



Fuente: <https://publications.wri.org/citiessafer/es/>

11. Pompeyano o cruces peatonales realizados

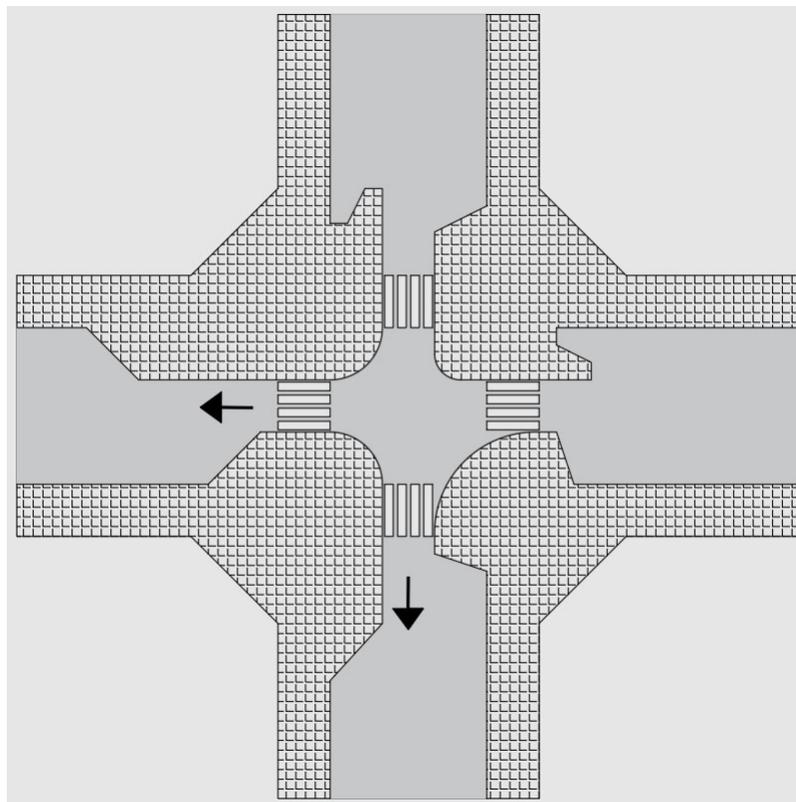
Figura 11: Mesetas y cruces peatonales realizados



Fuente: ITE

12. Orejas y martillos

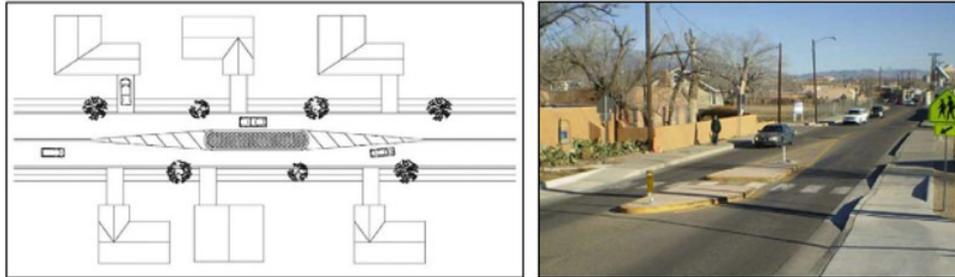
Figura 12: Orejas y martillos



Fuente: Propio, basado en Calmar el Tráfico. Alfonso Sanz Alduán. Ministerio de Fomento

13. Refugios para peatones

Figura 13: Refugios para peatones



Fuente: Secretaria distrital de movilidad de Bogotá

14. Resalto

Figura 14: Resalto



Fuente: <https://www.elcarrocolombiano.com/>

15. Tachones y bordillo

Figura 15: Tachones y bordillos



Fuente: <https://www.publimetro.co/>

■ **Medidas mediante la implementación de dispositivos sonoros**

1. Franjas con estoperoles

Figura 16: Franjas con estoperoles



Fuente: <https://ept.com.co/>

2. Bandas sonoras

Figura 17: Bandas sonoras



Fuente: Secretaria distrital de movilidad de Bogotá

3. Bandas transversales de alerta

Figura 18: Bandas transversales de alerta



Fuente: <https://www.publimetro.co/>

4. Pavimento táctil

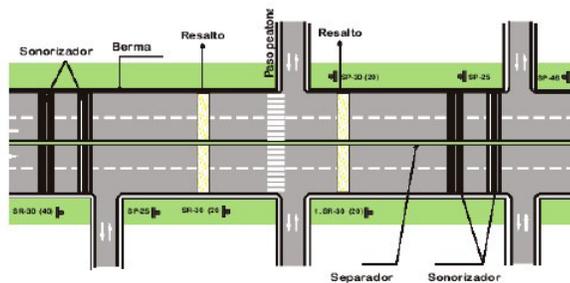
Figura 19: Pavimento táctil



Fuente: <https://www.alamy.com/>

5. Sonorizadores

Figura 20: Sonorizadores



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2004

■ Medidas mediante la implementación de dispositivos portátiles

1. Bandas reductoras de velocidad

Figura 21: Bandas reductoras de velocidad



Fuente: <https://www.ferax.es/>

2. Bolardos

Figura 22: Bolardos



Fuente: <https://publications.wri.org/citiessafer/es/>

3. Delimitador de calzada

Figura 23: Delimitador de la calzada



Fuente: <https://www.3m.com.co/>

4. Resaltos portátiles

Figura 24: Resaltos portátiles



Fuente: <https://www.motor.com.co/>

5. Tope reductor de velocidad easy rider

Figura 25: Tope reductor de velocidad easy rider



Fuente: <https://prodecaucho.wixsite.com/>

6. Tope reductor de velocidad safety rider

Figura 26: Tope reductor de velocidad safety rider



Fuente: <https://www.totalmentereflejante.com/>

■ **Medidas mediante la aplicación de dispositivos electrónicos**

1. Control de velocidad de cruceo adaptativo

Figura 27: Control de velocidad de cruceo adaptativo



Fuente: <https://es.vecteezy.com/>

2. Sistemas de adaptación inteligente de la velocidad

Figura 28: Sistemas de adaptación inteligente de la velocidad



Fuente: www.centro-zaragoza.com/

■ Medidas mediante la demarcación vial

1. Ilusión óptica

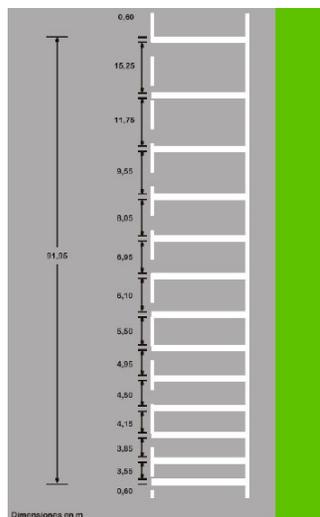
Figura 29: Ilusión óptica



Fuente: <https://noticias.autocosmos.com.mx/>

2. Líneas reductoras de velocidad

Figura 30: Líneas reductoras de velocidad



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

3. Pintura con textura

Figura 31: Pintura con textura



Fuente: <https://www.pavementsurfacecoatings.com/traffic-calming>

4. Resalto virtual

Figura 32: Resalto virtual



Fuente: <https://movilidadtotal.com.co/>

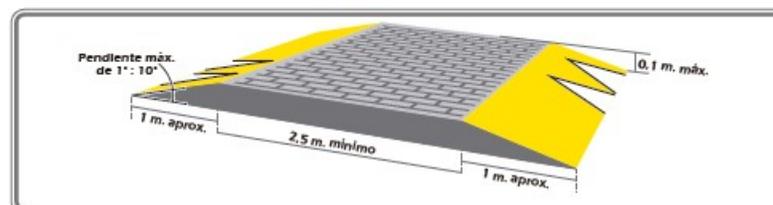
4.2.2. Medidas mediante la implementación de dispositivos según el Manual de Señalización del 2.015

A continuación se enumeran los tipos de dispositivos que se pueden diseñar en la literatura encontrada a nivel nacional (Manual Señalización INVIAS, 2015):

■ Reductores de velocidad, resaltos

1. Resalto trapezoidal o pompeyano

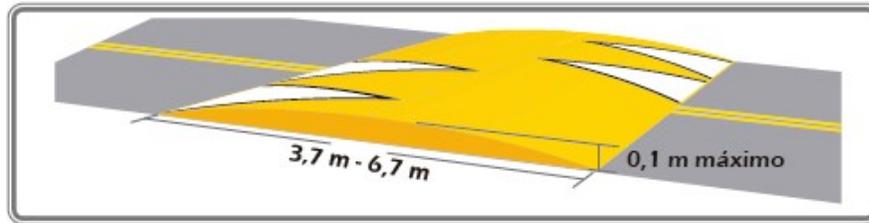
Figura 33: Resalto trapezoidal o pompeyano



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

2. Resalto parabólico o circular

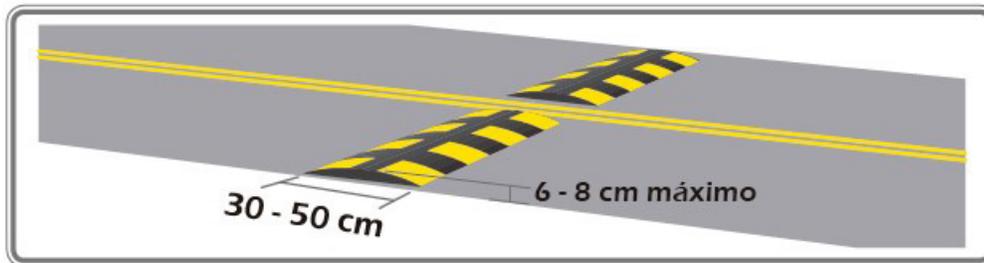
Figura 34: Resalto parabólico o circular



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

3. Resalto portátil

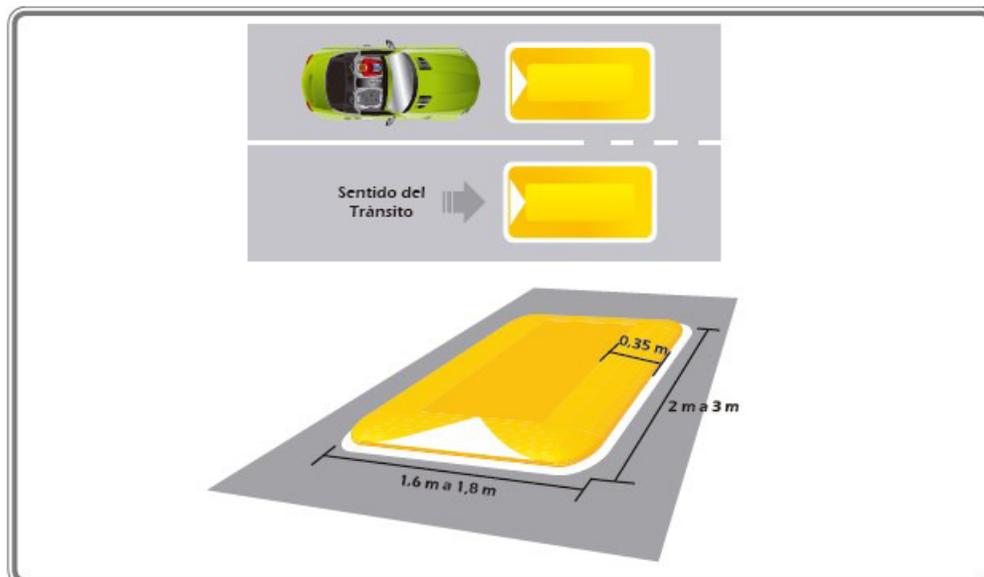
Figura 35: Resalto portátil



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

4. Resalto tipo cojín

Figura 36: Resalto tipo cojín

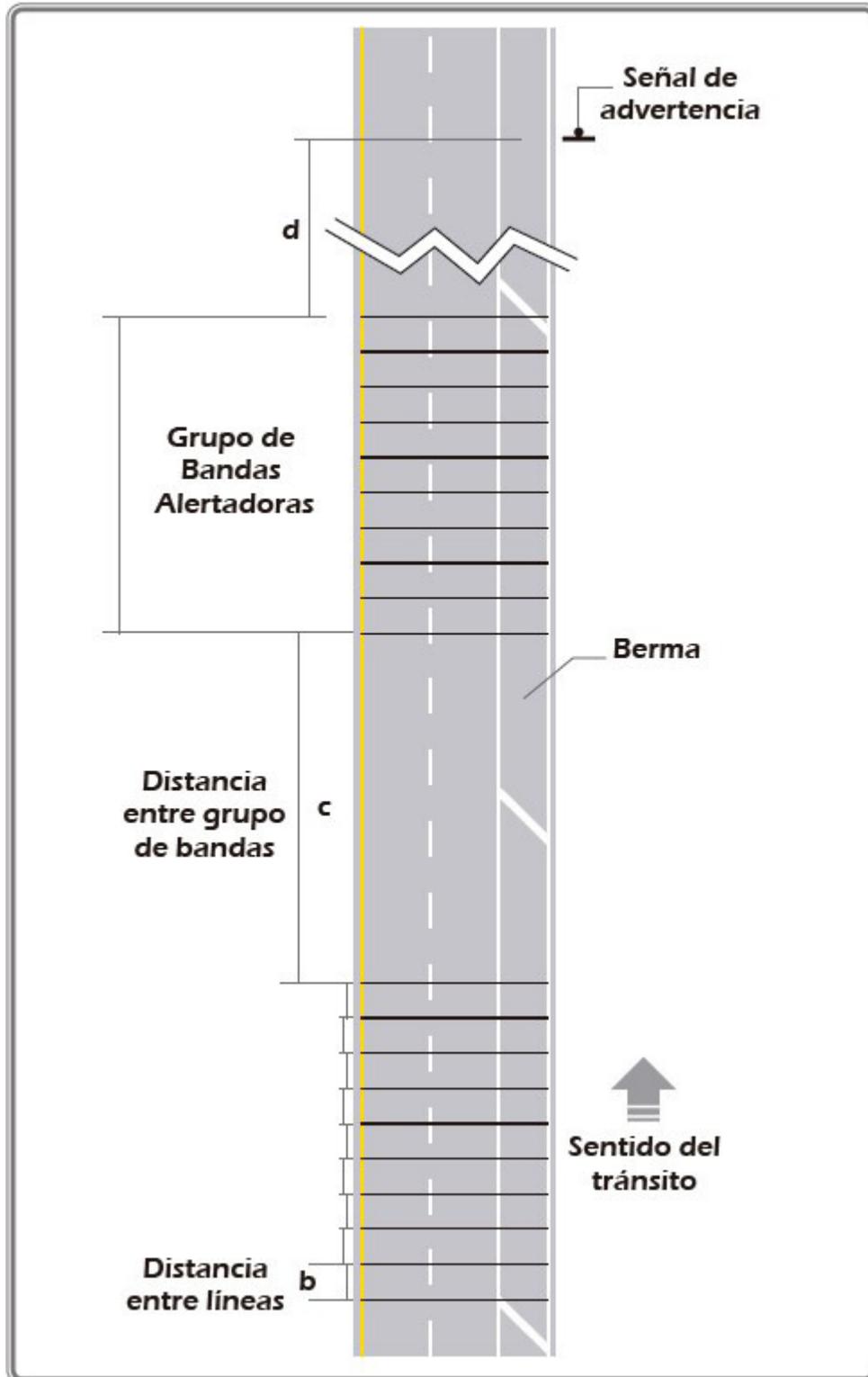


Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

■ **Bandas alertadoras**

1. Bandas alertadoras transversales

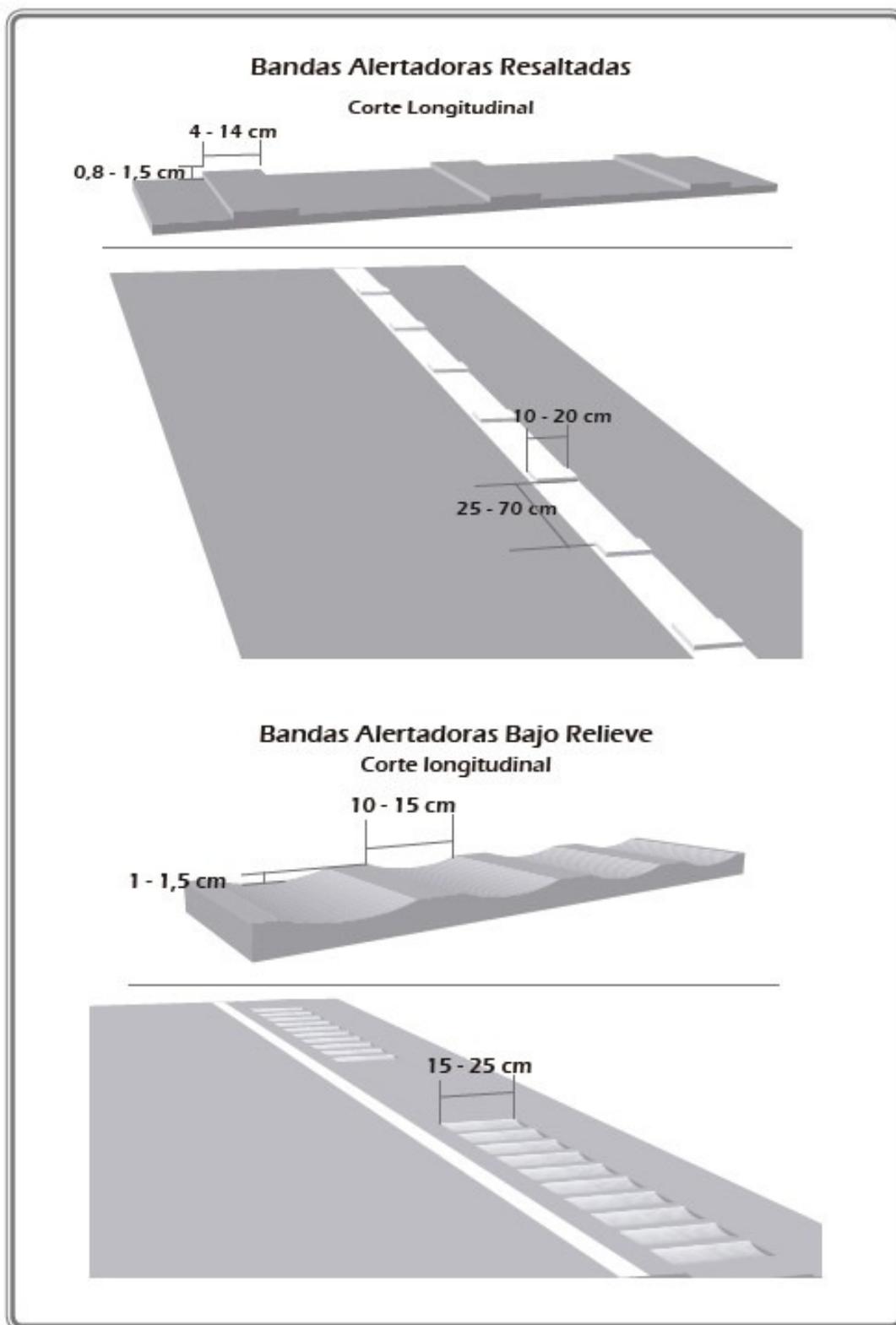
Figura 37: Bandas alertadoras transversales



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

2. Bandas alertadoras longitudinales

Figura 38: Bandas alertadoras longitudinales

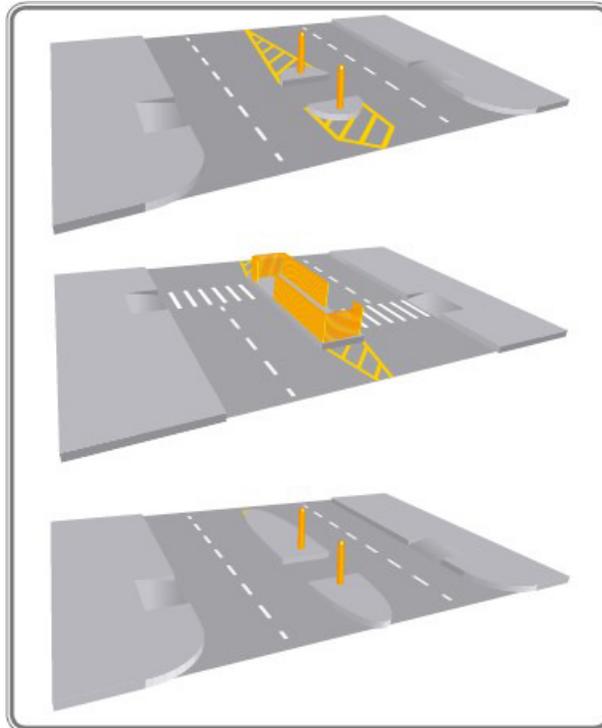


Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

■ **Alteración de la geometría**

1. Islas peatonales

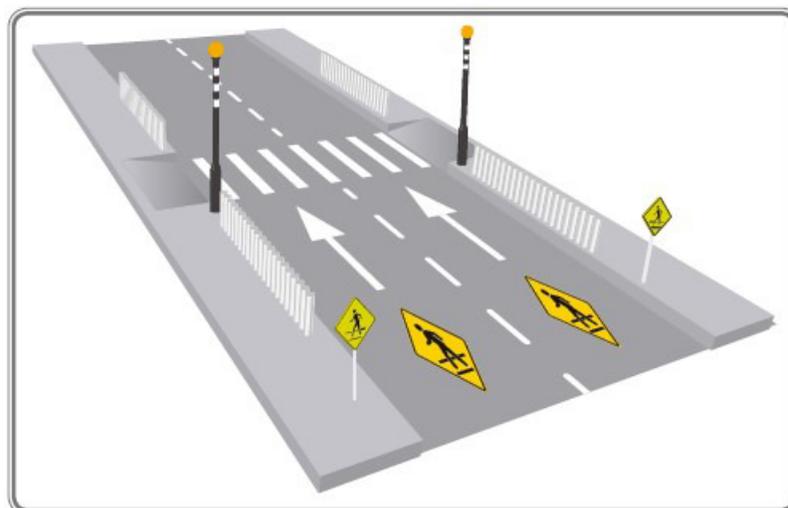
Figura 39: Islas peatonales



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

2. Paso cebra en tramo de vía

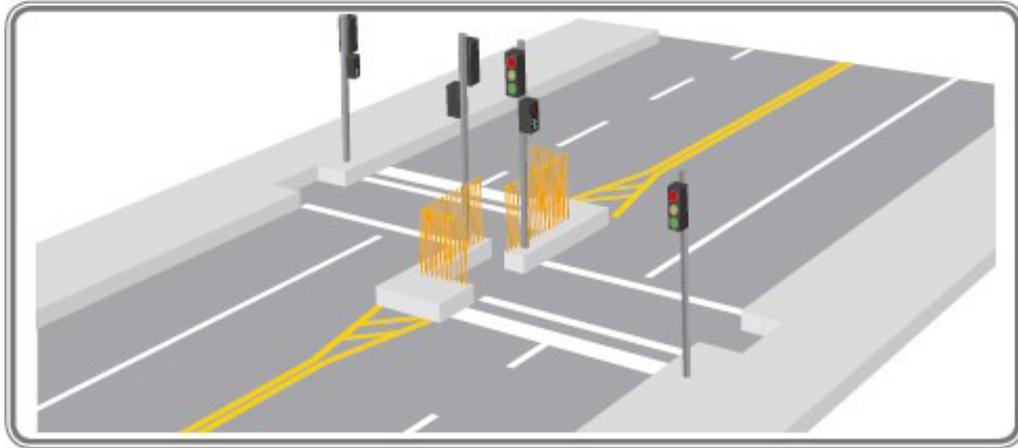
Figura 40: Paso cebra en tramo de vía



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

3. Paso peatonal regulado por semáforo con isla peatonal

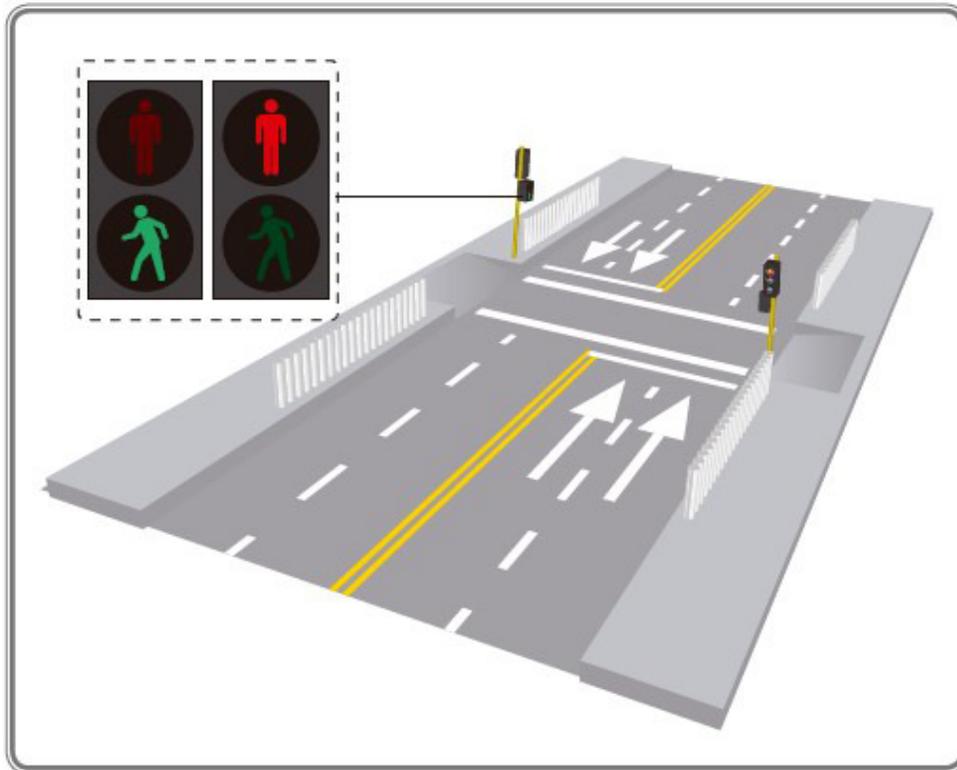
Figura 41: Paso peatonal regulado por semáforo con isla peatonal



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

4. Paso peatonal regulado por semáforo sin isla peatonal

Figura 42: Paso peatonal regulado por semáforo sin isla peatonal

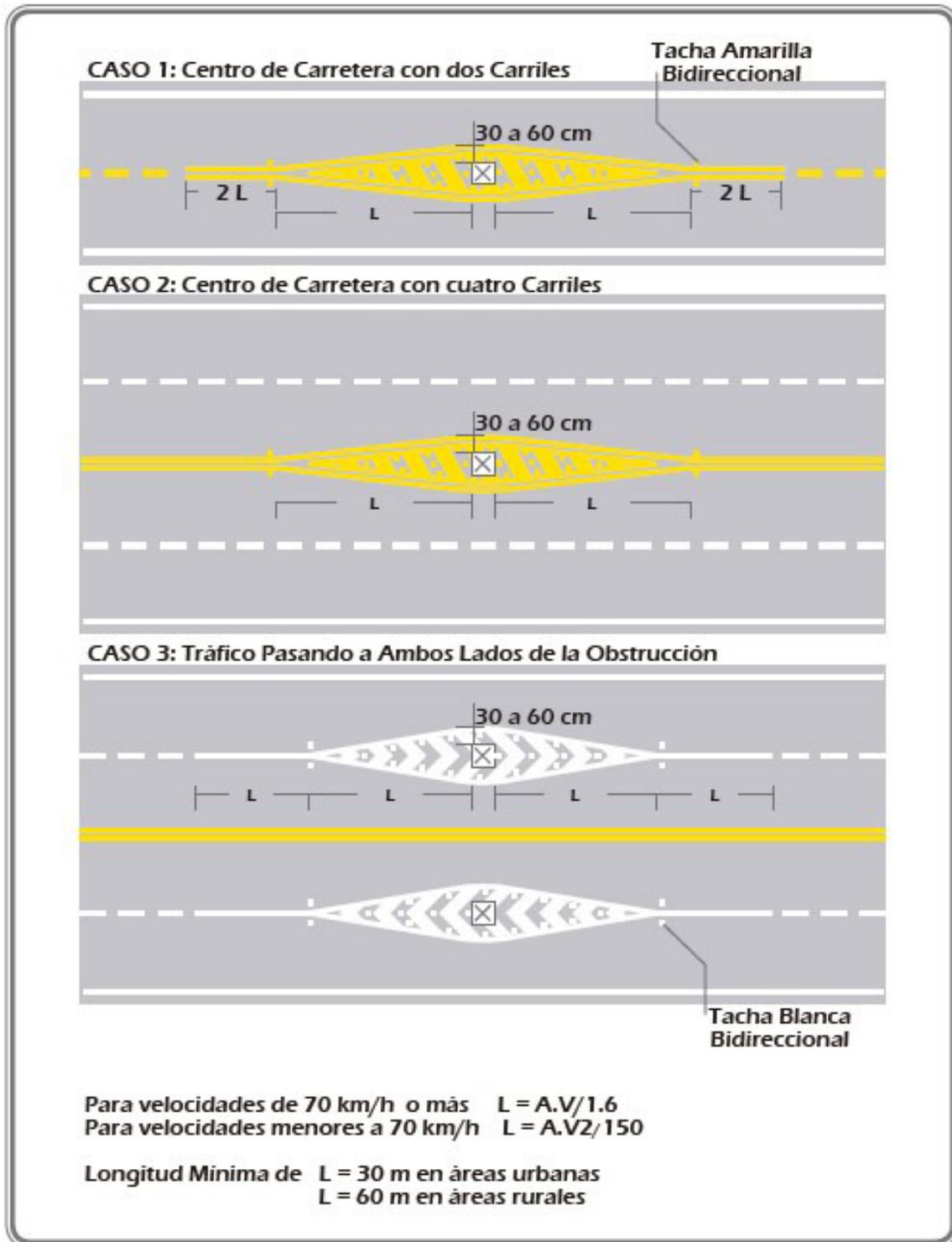


Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

■ **Pintura**

1. Achurados

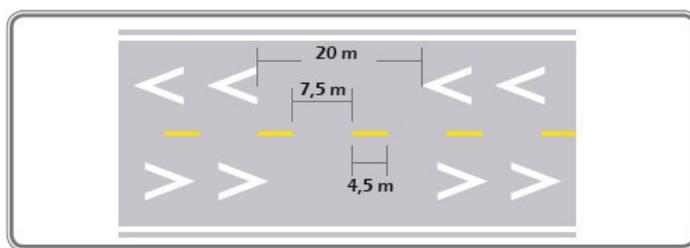
Figura 43: Achurados



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

2. Distanciadores

Figura 44: Distanciadores



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

4.2.3. Proyecto de pacificación del tráfico.

No existe una metodología definitiva o un proceso único para implementar la pacificación del tránsito a nivel comunitario, sin embargo, se conocen diagramas de flujo que permiten elaborar un proyecto de pacificación impulsado por solicitudes de la comunidad. (ITE, 2016).

En Colombia se cuenta con una propuesta de Guía de medidas de tráfico calmado, la última reunión fue el 26 de diciembre de 2017 y se esperaba tener la versión final para el año 2018. Para el año 2023 se continúa con las mesas de trabajo en una nueva propuesta de Guía de Pacificación del Tránsito, la cual se encuentra en su etapa final de aprobación para iniciar con su implementación.

A continuación, se detallan algunos pasos que permiten avanzar en un procedimiento de concertación comunitario:

1. Evaluar el requerimiento de la comunidad: Un proyecto de pacificación del tránsito puede partir de una iniciativa pública o cívica, bajo la gestión, financiación y mantenimiento público.
2. Identificar la necesidad o la problemática: Nace a partir de puntos, zonas o tramos críticos de siniestralidad vial de acuerdo con la metodología establecida por el Ministerio de Transporte, normalmente esta actividad debe ser identificada por la entidad encargada de la movilidad en la ciudad, pero en varios casos es identificada por la comunidad y es ella quien realiza la solicitud de la atención de la problemática de seguridad vial.
3. Identificar el área de impacto: Esta información se obtiene del formulario de solicitud de la comunidad o la identificación de la zona crítica de siniestralidad, se debe complementar con los grupos técnico y de emergencia con el fin de conocer la totalidad del área de impacto.
4. Designar el equipo de trabajo de un proyecto de pacificación: Se organiza a partir de los tres componentes: técnico, comunicación y participativo; en consecuencia, se debe designar un líder por cada componente que cuente con el conocimiento y experiencia idónea en la materia.

5. Elaborar el estudio: Conocer los detalles técnicos, el plan de implementación, las etapas de desarrollo del proyecto, los costos, el plan de seguimiento y monitoreo.
6. Aprobar el proyecto: Contar con el visto bueno del equipo de trabajo y luego contar con la aprobación por parte de la entidad estatal encargada para tal fin.
7. Implementar el proyecto.
8. Hacer seguimiento y monitoreo: Levantar información que permita definir si la medida aprobada funciona correctamente, con el fin de realizar los ajustes necesarios. (ITE, 2016)

Un proyecto de pacificación del tránsito aplicable en toda la ciudad, concertado con la comunidad y las autoridades pertinentes sería lo ideal, este tipo de proyecto necesitaría de una inversión muy grande de recursos públicos; sería más real contar con un laboratorio de movilidad, quien nos suministra información estadística acerca de la siniestralidad y conflictos entre los usuarios de forma rápida y confiable, fácilmente obtenemos un mapa de problemas y con un grupo técnico de trabajo se avanzaría hacia posibles soluciones.

4.2.4. Etapas del plan de pacificación del tráfico.

1. Inicio del estudio.
2. Identificar los problemas e inquietudes.
3. Desarrollar un plan.
4. Revisar el proceso.
5. Implementar el plan.
6. Seguimiento y monitoreo.

4.3. Demanda vehicular y oferta vial

La problemática en el sector urbano debido al aumento del volumen de vehículos que circulan a alta velocidad en una vía local residencial nace en la mayoría de los casos de la falta de vías arterias principales con su capacidad vial que llegó a su límite, por lo tanto, los usuarios buscan vías alternas para llegar a su lugar de destino.

En vías rurales ya sea de carreteras de dos carriles o carreteras de carriles múltiples, también se debe identificar la demanda vehicular (los vehículos) y la oferta vial (las carreteras). Se debe establecer la demanda histórica que representa los volúmenes vehiculares año tras año, información con la cual se puede realizar el cálculo de la demanda vehicular futura proyectada, compararla con la capacidad vial disponible y predecir problemáticas viales. (CalyMayor y Grisales, 2007)

Dado lo anterior es conveniente conocer los conceptos de demanda vehicular y oferta vial, porque la problemática del sector residencial sería una problemática transitoria, si es posible construir vías nuevas o mejorar la capacidad vial de las existentes.

La demanda vehicular es la cantidad de vehículos, que requieren desplazarse por un determinado sistema vial.

La oferta vial representa la cantidad máxima de vehículos, que finalmente pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico.

$DemandaVehicular \leq OfertaVial$, no se presentarán grandes problemas de tránsito.

$DemandaVehicular > OfertaVial$, se presentarán problemas de tránsito. (CalyMayor y Grisales, 2007)

4.4. Factores que intervienen en un problema del tránsito.

El crecimiento de las ciudades hace que el aumento de la necesidad de transporte aumenta y de la mano la demanda vehicular aumenta necesitando una mayor oferta vial. En muchas ciudades las vías operen por encima de la capacidad vial esperada o proyectada, lo cual se ve reflejado en problemas de tránsito. (CalyMayor y Grisales, 2007)

A continuación se presentan varios factores que ayudan a entender un problema de tránsito:

4.4.1. Diferentes modalidades de transporte que circulan en la misma vía.

- Automóviles de diferente dimensión, velocidad y aceleración.
- Camiones y buses de diferente dimensión que circulan a alta velocidad.
- Camiones buses de diferente dimensión y pesados que circulan a baja velocidad.
- Motocicletas, bicicletas, patinetas, etc.
- Vehículos de tracción animal.
- La caminata, ya sea recreativa o por necesidad de desplazamiento. (CalyMayor y Grisales, 2007)

4.4.2. Diseños deficientes sin tener en cuenta la caracterización del tránsito.

- Aplicación de normas de diseño de carreteras de igual forma que para las vías urbanas.
- Vías angostas.
- Aceras insuficientes que generan conflicto del peatón con el resto de usuarios de las calles.
- Falta de implementación de pacificación del tránsito, partiendo de que este tipo de proyectos no son aplicables a cualquier tipo de vía.

4.4.3. Deficiente planificación del tránsito.

- Diseño de calles sin realizar estudios de tránsito y con un deficiente análisis de la problemática real.
- Falta de políticas públicas para implementar adecuadas zonas de parqueo.
- Incoherencia en la localización de zonas residenciales en relación con el funcionamiento de las zonas comerciales.
- Inexistencia de planes de desarrollo urbano, movilidad, espacio público, estacionamientos, ciclorutas entre otros.
- Inexistencia de un observatorio de seguridad vial.

4.4.4. Deficiencia en la evaluación del transporte público y el privado.

- Falta de estudios que permitan determinar la importancia del vehículo con respecto a crecimientos de la economía.
- Falta de estudios que permitan estimular el transporte público y mejoren la eficiencia de las vías con respecto a la capacidad vial.
- Falta de modelos que permitan evaluar la demanda vehicular con respecto a la oferta vial.

4.4.5. Falta de generación de políticas de transporte.

- POT que no permite evaluaciones en participación con la comunidad.
- Legislación donde logre que los usuarios cumplan con su rol sin generar problemas que conlleven a la siniestralidad.
- Falta de educación vial a nivel de todos los actores. (CalyMayor y Grisales, 2007)

4.5. Tipos de Solución

1. **Solución integral.** Esta solución nace de un estudio de tránsito, que conlleva a cambios en la geometría de la vía, las cuales se desarrollan con la compra de predios que tienen un evalúo muy alto.
2. **Solución parcial de alto costo.** Esta solución consiste en emplear lo que actualmente encontramos con diseños, que requieren fuertes inversiones.
3. **Solución de bajo costo.** Esta solución conlleva a mejorar lo existente, invirtiendo pocos recursos, mejorando la legislación, mucha educación vial. Depende muchísimo de un POT encaminado a mejorar la movilidad. (CalyMayor y Grisales, 2007)

4.6. Bases para una solución

La experiencia muestra que en determinado tipo de soluciones debe existir tres elementos:

1. La Ingeniería de Tránsito.
2. La educación vial.
3. La legislación y el control (vigilancia). (CalyMayor y Grisales, 2007)

4.7. Metodología para encontrar una solución

1. Observación de la problemática.
2. Formulación de hipótesis de la problemática y su solución.
3. Recopilación de datos.
4. Estudios de seguridad vial.
5. Auditorias e inspecciones de seguridad vial.
6. Análisis de los datos.
7. Proposición concreta y detallada.
8. Estudio de los resultados obtenidos.(CalyMayor y Grisales, 2007)

4.8. Distancia para detener un vehículo (Dp)

Es necesario realizar el análisis del concepto de la desaceleración y el frenado, estos parámetros permiten calcular la distancia en la cual el reductor de velocidad es identificado por el conductor y se hace efectiva la disminución de velocidad en el lugar crítico estudiado.

Los estudios de tránsito permiten concretar la conveniencia de implementar reductores de velocidad, y para ellos es necesario definir el vehículo tipo y el vehículo de diseño.

“Vehículo tipo: es el que se usa cuando interesa estudiar condiciones habituales. Se establece asignándoles características que suele ser las medias de los vehículos que representa, ponderadas por el número de esos vehículos que existen en el parque automotor o que se encuentran transitando por las vías”. (Radelat, 2003)

“Vehículo de diseño: las características geométricas de las vías deben estar relacionadas con los atributos de la mayoría de los vehículos que circulan por ellas. Pero como es tan amplia la variedad de vehículos que existe, para proyectar esas vías deben usarse ciertos vehículos representativos que excedan en tamaño y limitaciones de operación a la mayoría de los de su clase.” (Radelat, 2003)

El vehículo tipo es el característico del proyecto, es el que se encuentra transitando por las vías. El vehículo de diseño es un vehículo que es representativo y obtiene las características de todos los vehículos similares que circulan por la vía.

Para este proyecto es necesario estudiar el tipo de vehículo representativo y en este caso será el vehículo tipo.

La aceleración es dada por:

$$a = \frac{FuerzaDisponible}{MasaVehiculo}$$

La deceleración es dada por:

$$D = \frac{V^2 - U^2}{254(f + I)}$$

Donde:

$D =$ Distanciade frenado

$V =$ Velocidaddelvehiculo(km/h)

$f =$ Coeficientederozamientoofriccion

$I =$ Inclinaciondelapendientedelavia(entantoporuno; negativasi esdescendente)

$U =$ Velocidadfinal(km/h)

(CalyMayor y Grisales, 2007)

En la Tabla 1 se presenta la distancia de visibilidad de parada D_p .

Tabla 1: A Policy on Geometric Design of Highways and Strets.Washington D.C. 2018.

Velocidad de Diseño Vd (km/h)	Distancia de Visibilidad de Parada Dp (m)
20	20
30	35
40	50
50	65
60	85
70	105
80	130
90	160
100	185
110	220
120	250
130	285
140	325

Fuente: Propia. Basado en AASHTO 2018

4.9. Distancia Visual de Decisión (VSD)

Cuando un conductor se encuentra circulando en la carretera (vía rural) o una calle (vía urbana), la distancia de parada (ya estudiada en la sección 4.8) no es suficiente debido a

posibles deficiencias en los diseños geométricos, pavimentos o señalización, esto puede conllevar a una maniobra que impliquen riesgos. Para estos casos se considera importante tener en cuenta la distancia visual de decisión (VSD) que nos permite conocer una distancia suficiente en la que el conductor toma una decisión de disminuir la velocidad sin contratiempo alguno. Conociendo esta distancia se podría emplear en la localización de una señal de tránsito que informaría la existencia de un reductor de velocidad y que debe prepararse para disminuir la velocidad. (AASHTO, 2018)

Los conductores necesitan distancias visuales de decisión donde la información reflejada no sea clara o si existen dispositivos de control. Algunos casos donde se puede presentar este tipo de condiciones complejas son:

Algunos casos son:

- Intersección.
- Cambios de sección transversal.
- Casetas de Peaje.
- Desnivel en el carril.
- Áreas con contaminación visual, información, letreros publicitarios, elementos viales, tráfico, dispositivos de tráfico.

A continuación en la Tabla 2, se presenta la Distancia Visual de Decisión (VSD), para vías rurales cercanas a áreas urbanas y vías urbanas.

Tabla 2: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C. 2018.

Velocidad de Diseño Vd (km/h)	Distancia Visual de Decisión área rural (VSD) (m)	Distancia Visual de Decisión área urbana(VSD) (m)
20	25	60
30	35	90
40	55	120
50	70	155
60	95	195
70	115	235
80	140	280
90	170	325
100	200	370
110	230	420
120	265	470
130	305	525
140	340	580

Fuente: Propia. Basado en AASHTO 2018

En la Tabla 1 los valores de parada son menores en longitud que los de la Tabla 2, lo que nos indica que el valor de VSD permite que el conductor tenga una mayor distancia para maniobrar con seguridad.

4.10. Dispositivo resalto parabólico

La necesidad de proponer una guía para implementar reductores de velocidad, nace como una solución para pacificar el tráfico. Su efectividad se ve controvertida cuando no se realiza un estudio técnico que permita evaluar varias alternativas de solución de la problemática y que soporte la decisión tomada.

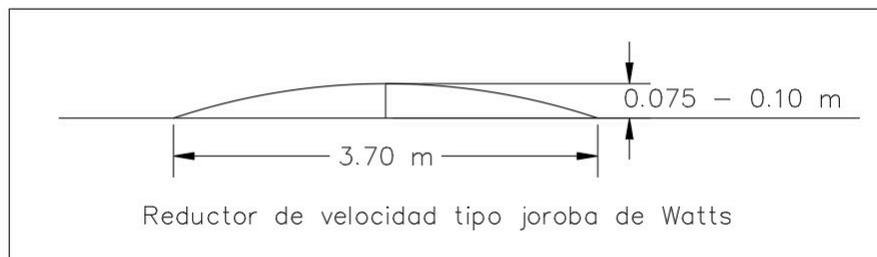
A continuación, se enumera algunos factores, que han conllevado a las autoridades a tomar la decisión de emplear el reductor de velocidad circular:

1. Presión de la comunidad en la necesidad de construir el dispositivo.
2. Siniestralidad vial.
3. Efectividad del dispositivo al disminuir drásticamente la velocidad.
4. Carencia de cultura vial por parte de los usuarios de la vía.
5. Desconocimiento de otros dispositivos o medidas de pacificación del tránsito.
6. Falta de un estudio técnico detallado que permita resolver la problemática.

El mal empleo del reductor de velocidad, puede conllevar a inconvenientes que se enumeran a continuación:

1. Mayor tiempo en el recorrido.
2. Mayor gasto de combustible, en consecuencia mayor contaminación.
3. Puede presentar otro tipo de accidentes como salidas de la vía, choques por frenado inesperado y hasta volcamiento del vehículo.
4. Mayor desgaste del vehículo, presentando inconvenientes en la suspensión y rodamientos.
5. Posibles problemas en el cuello de los pasajeros.
6. Mayor recorrido de los servicios de emergencia como bomberos, ambulancias, policía, etc.
7. Aumento de la delincuencia.

Figura 45: Reductor watts. Traffic Calming: State of the practice ITE/FHWA. 1999



Fuente: Propia. Basado en ITE. Reid Ewing. 1999

El diseño más común es el Perfil de Watts (circular), es una sección de un cilindro de 3,7 metros (m) de largo y 75 a 100 milímetros (mm) de alto y se construye a lo ancho de la calle. Una velocidad de 25 a 30 kilómetros por hora (km / h) es la recomendada antes de ingresar al dispositivo. El resalto circular presenta inconvenientes con el tráfico de vehículos pesados.

Figura 46: Reductor seminole. Traffic Calming: State of the practice ITE/FHWA. 1999



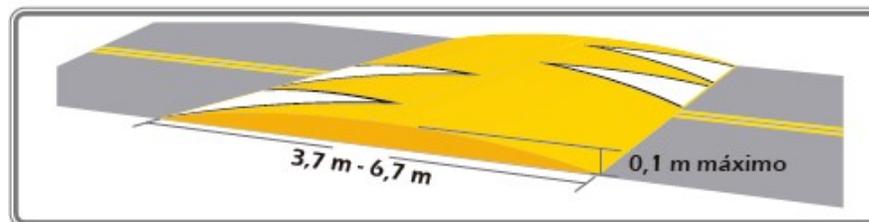
Fuente: Propia. Basado en ITE. Reid Ewing. 1999

Los resaltos parabólicos son muy efectivos, Estados Unidos presenta una propuesta menos severa que es el perfil Seminole (parabólico) (Ewing, 1999) con una longitud adicional de 3 metros para un total de 6.7 metros.

En Europa se ha pensado en longitudes, alturas y perfiles diferentes, por lo tanto, la velocidad de circulación en esas calles es hasta 50 km/h y cruzan sobre el dispositivo a 5 km/h (Weber y Braaksma, 2000).

En Colombia contamos con el resalto circular o parabólico (Manual Señalización INVIAS, 2015), el cual tiene la siguiente presentación:

Figura 47: Resalto Circular



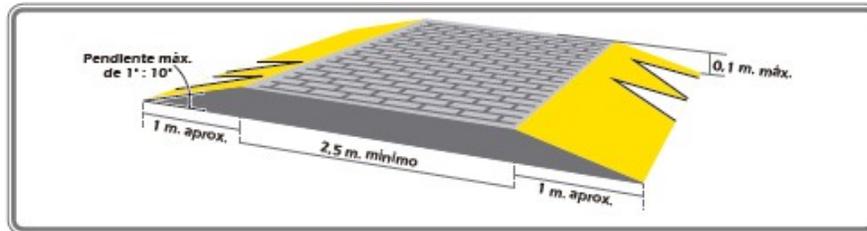
Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

Se logra concluir que en Colombia se ha adoptado la transición entre el Reductor de Watts (Longitud = 3.7 m) corresponde al circular y el Reductor Seminole (Longitud = 6.7 m) corresponde al parabólico. Cómo se logra apreciar el seminole corresponde a una transición de 3 metros mayor al Watts, lo que genera mayor comodidad del vehículo más grande que garantiza que la velocidad realmente disminuye.

En Colombia se ha adoptado el (Manual Señalización INVIAS, 2015) Resalto Trapezoidal o Pompeyano , como una alternativa para reducir la velocidad en zonas que se hace

necesario pasos de peatones y bicicletas, la pendiente máxima en la rampa de ingreso es del 15 % y su longitud depende del vehículo tipo del proyecto.

Figura 48: Resalto Trapezoidal o Pompeyano



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

4.10.1. Teoría del resalto parabólico

El resalto parabólico funciona transfiriendo el componente vertical de la fuerza al vehículo y a sus ocupantes, al atravesar el dispositivo. El resultado de dicho efecto es la aceleración conocida como cabeceo y es el efecto de cruzar el dispositivo quien tiene una longitud superior a la distancia entre ejes del vehículo, este efecto esta ligado a la velocidad con la que ingresa el vehículo al dispositivo. La suspensión del vehículo se encuentra ligada a la absorción de dicha aceleración (Weber y Braaksma, 2000).

Por lo tanto, es importante evaluar cómo el dispositivo permite que se reduzca la velocidad de un vehículo, ya que: a mayor velocidad mayor aceleración vertical:

$$R_i = \frac{Pa}{g}$$

donde:

R_i = Resistencia a la inercia (kg)

P = Peso del vehículo (kg)

a = tasa de aceleración (m/s^2)

P = aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$)

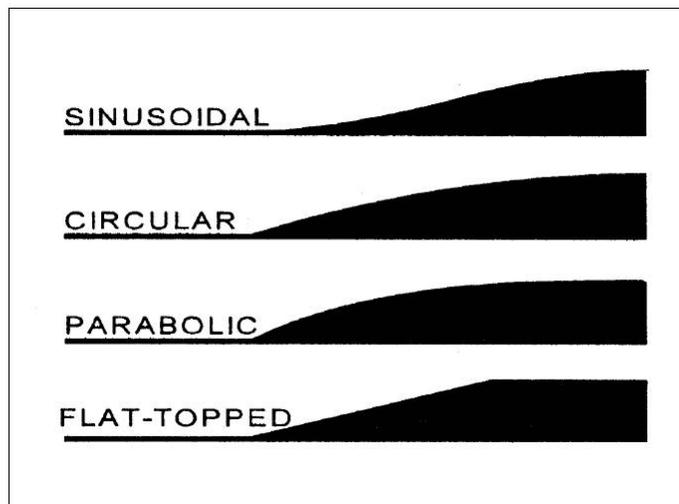
El vehículo al ingresar al reductor de velocidad que tiene un ángulo de inclinación, la aceleración tendría un componente vertical y otro horizontal.

En consecuencia, el componente vertical podría ocasionar la pérdida de control del vehículo y lesiones en el cuello de sus ocupantes.

La longitud del reductor de velocidad es el parámetro crítico en el diseño del dispositivo y con una gran importancia la caracterización del tránsito, ya que el dispositivo se encuentra estandarizado para automóviles. Es importante tener en cuenta que en las ciudades encontramos transporte de alimentos, enseres, artefactos, etc y transporte público con velocidades de operación hasta de 50 km/h.

Lo anterior, direcciona a realizar una evaluación de la longitud del dispositivo, ya que dependerá del vehículo tipo seleccionado y al mismo tiempo de la distancia entre ejes del mismo.

Figura 49: Diferentes Perfiles RV



Fuente: Propia a partir Basado en ITE. Reid Ewing. 1999

En la Figura 49 encontramos el tipo de perfiles que se conocen a nivel internacional. Escoger el tipo obedece a un criterio de experiencia en el método constructivo del dispositivo, por ejemplo:

- Tipo sinusoidal: se emplea con mayor eficiencia en camiones y buses, teniendo en cuenta la distancia entre ejes. La longitud es de 9.1 metros. (Ewing, 1999)
- Tipo circular: se emplea en automóviles y camiones pequeños. La longitud es de 3.7 metros.
- Tipo parabólico: se emplea en camiones y volquetas. La longitud es de 6.7 metros.
- Tipo trapezoidal (Flat - topped): se emplea popularmente para dar prioridad a peatones o ciclistas, también se emplean donde existe transporte público, teniendo en cuenta la distancia entre ejes, con el fin de no generar inconveniente mecánico en el vehículo y movimientos bruscos en el cuerpo de los pasajeros.

4.10.2. Velocidad de diseño

En una carretera nacional, interdepartamental e intermunicipal: *“se debe considerar como longitud mínima de un tramo la distancia correspondiente a dos (2) kilómetros y entre tramos sucesivos no se deben presentar diferencias en las velocidades de diseño superiores a los 20 km/h.”, determinar la velocidad de diseño depende de la importancia de la categoría de la carretera. . .* (Cárdenas, 2015)

La Figura 50, nos aclara la categoría de las carreteras y su velocidad de diseño.

Figura 50: Categoría de carreteras

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

Fuente Manual de diseño geométrico INVIAS 2008

El diseño geométrico de una vía urbana depende de la categoría de ésta y su capacidad depende de la importancia de la misma, por ejemplo una vía arteria principal permite velocidades entre 60 y 80 km/h (German, 2020) (en algunos casos hasta 100 km/h (Grisales, 2022)). Contando con una buena modelación del tránsito y con una capacidad vial adecuada al parque automotor existente, no se tendría inconvenientes en la movilidad. Lo anterior no tiene nada que ver con la realidad y se convierte en un problema complejo, ya que construir vías arterias principales para las horas pico demandaría adquirir enormes zonas céntricas que demandan altos costos.

El acceso a zonas residenciales se encuentran a distancias pequeñas, comparadas con las longitudes de las vías nacionales, por lo tanto, la velocidad de diseño depende totalmente de la jerarquía de la vía.

A continuación, se presenta la jerarquización de las vías urbanas y la velocidad recomendada para cada una de ellas.

Tabla 3: Velocidad de Diseño

Tipo de Vía	Velocidad de Diseño
Vías arterias principales	60 - 80 km/h
Vías arterias secundarias	60 km/h
Vías colectoras	50 km/h
Vías marginales	50 km/h
Vías paisajísticas	50 km/h
Vías locales	30- 50 km/h
Vías semipeatonales	30 km/h

Fuente: (German, 2020)

La densidad de la red vial urbana es un parámetro importante para evaluar, por lo tanto,

se debe tener en cuenta el porcentaje de cada tipo de vía con respecto a la totalidad de la oferta vial de la ciudad.

En la Tabla 4 se presentan valores que en promedio de densidad se encuentran a nivel mundial:

Tabla 4: Dosificación de la red vial urbana

Tipo de Vía	Porcentaje
Vías arterias primarias	5.0 %
Vías arterias secundarias	20.0 %
Vías colectoras	15.0 %
Vías locales	60.0 %

Fuente: (Grisales, 2022)

En la Tabla 3 encontramos la velocidad de diseño recomendada según el tipo de vía, parámetro fundamental en el estudio que debe ser comparada con la de operación, por lo tanto, si existen grandes diferencias entre ellas es síntoma de que la calle presenta inconvenientes de movilidad con posibles conflictos entre los usuarios viales, de igual forma en la Tabla 4 muestra la tendencia a nivel mundial de la densidad, lo que nos ayuda a identificar posibles problemáticas por la falta de arterias primarias o principales, en estos casos la disminución de la velocidad hace que los conductores se desvíen hacia las vías residenciales contiguas y en este caso se convierte en una obligación la construcción del dispositivo.

Por ejemplo, a continuación se presentan los siguientes datos obtenidos del POT del 2014 de la ciudad Santiago de Cali, cuya malla vial se encuentra jerarquizada en la Tabla 5.

Tabla 5: Malla vial de Santiago de Cali

Tipo de Vía	Porcentaje
Vías interregionales	3.4 %
Vías arterias primarias	12.5 %
Vías arterias secundarias	8.5 %
Vías colectoras	7.6 %
Vías locales	68.0 %

Fuente: (Grisales, 2022)

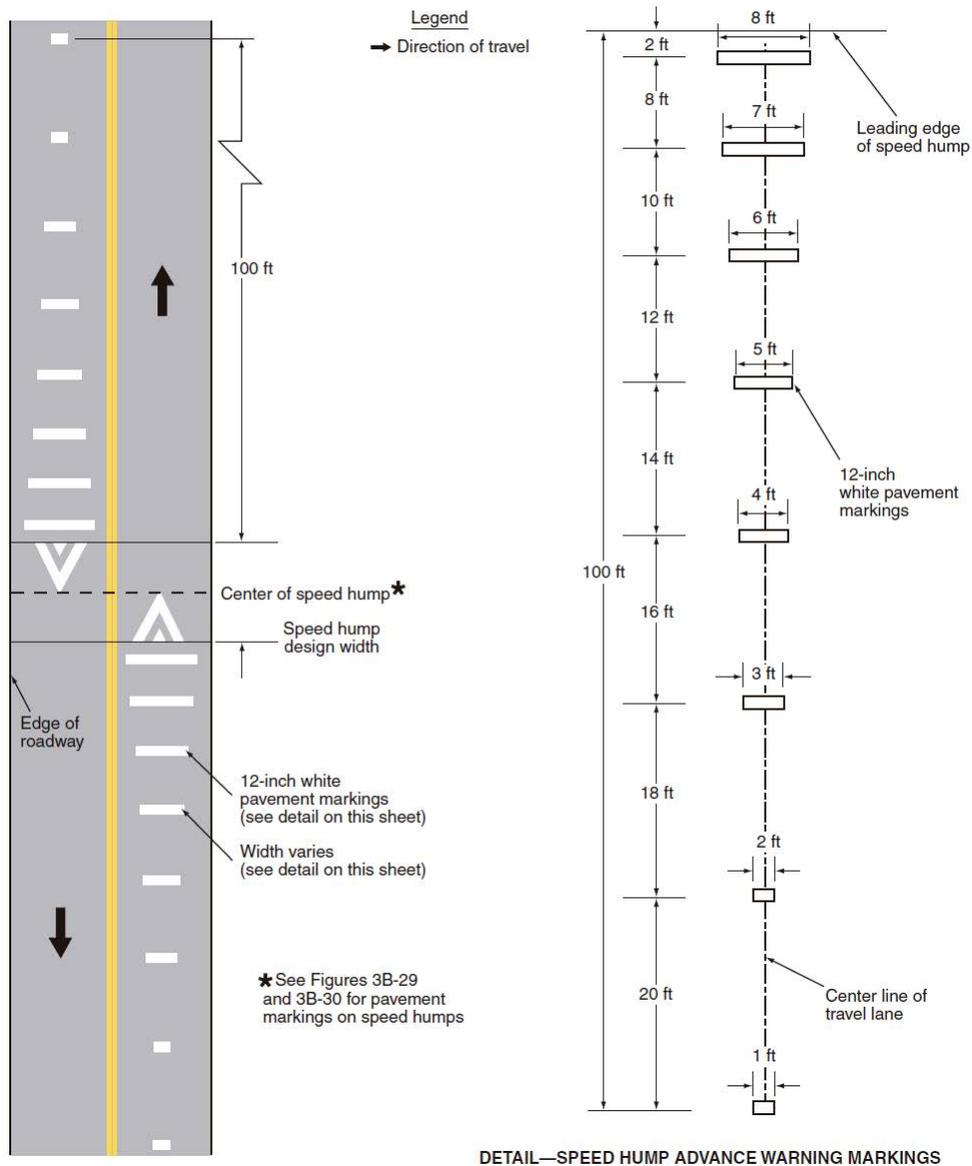
Revisando la información de la Tabla 5, se concluye que se identifican deficiencias en las vías secundarias ya que el porcentaje es del 8.5 % y se esperaba un valor por encima del 20 %, este análisis nos debe llevar a intensificar la construcción de vías colectoras, lo cual es un síntoma de que las vías locales presentan problemas de velocidades de operación altas y conflictos de los vehículos con los demás usuarios, escenario que hace necesario implementar proyectos de pacificación del tráfico.

4.11. Señalización Internacional

A continuación, se presenta en la Figura 51 el modelo de demarcación del manual on uniform traffic control devices for streets and highways, edición 2.009 con la tercera revisión de Julio de 2.022 (US-DEPARTMENT-OF-TRANSPORTATION, 2009), es una propuesta que puede ser tenida en cuenta para futuros cambios del Manual de señalización del INVIAS.

Figura 51: Modelo Señalización MUTCD

Figure 3B-31. Advance Warning Markings for Speed Humps



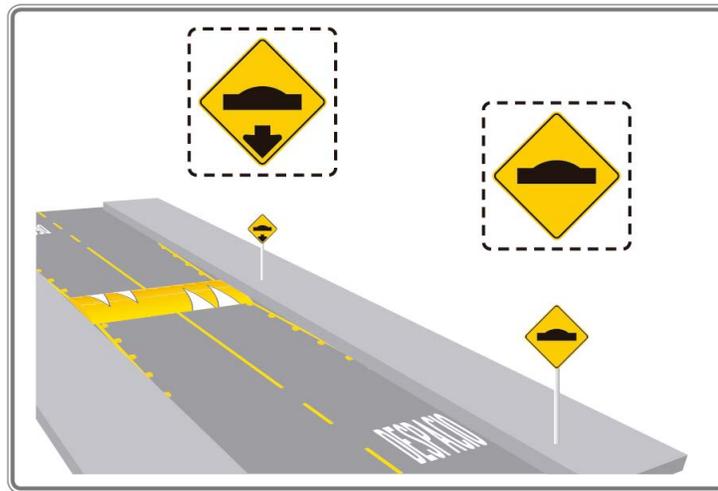
Fuente: MUTCD

4.12. Señalización Colombia

A continuación se presenta el modelo de señalización en el Manual Colombiano del 2015. Ver Figura 52, la cual se adoptará como la señalización tipo en la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales.

La señal para advertir al conductor la proximidad de un resalto, se instala en vías donde la Velocidad Máxima es de 60 km/h o menor y a una distancia del resalto de 40 a 60 metros.

Figura 52: Modelo Señalización Colombia.



Fuente: Manual de Señalización 2015

Esta señal debe complementarse con la señal reglamentaria Velocidad Máxima SR-30, para disminuir gradualmente la de operación, una vez se va acercando al resalto.

La señal SP-25A de ubicación del resalto se debe instalar indicando el lugar en el que se encuentra el reductor de velocidad.

4.13. Conflicto vehículos - peatones

Al implementar dispositivos, en conjunto con propuestas que mitiguen o eliminen una problemática de conflicto con peatones, se debe analizar la magnitud de la problemática, teniendo en cuenta el estudio de volúmenes de peatones y vehículos.

Esta metodología se empleará en la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales, con el fin de encontrar el conflicto entre peatones y actores vales. Se propone emplear el indicador PV^2 (Manual Señalización INVIAS, 2015), donde:

P = Peatones por hora.

V = Vehículos por hora.

Estos valores equivalen al promedio de cuatro horas en que la cantidad de peatones multiplicada por el flujo vehicular al cuadrado, alcanza sus valores más significativos.

Debe realizarse conteos en forma horaria, determinando el día de mayor conflicto y en al menos durante seis horas de máximo flujo vehicular y/o peatonal.

$$P = \frac{\sum p_i}{4}$$

$$V = \frac{\sum v_i}{4}$$

$$PV^2$$

Luego de obtener el valor se evalúa teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 6: Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2

PV^2	Peatones (p)	Vehículos (v)	Recomendación preliminar
* Sobre 10^8	50 a 1.100	300 a 500	Paso Cebra
	50 a 1.100	sobre 500	Semáforo peatonal con botonera.
	sobre 1.100	sobre 300	Semáforo peatonal con botonera.
** Sobre 2×10^8	50 a 1.100	400 a 750	Paso Cebra con isla o refugio peatonal.
	50 a 1.100	sobre 750	Doble Semáforo peatonal con botonera con refugio peatonal.
	sobre 1.100	sobre 400	Doble Semáforo peatonal con botonera con refugio peatonal.

Fuente: propia basado en el Manual de Señalización INVIAS 2015

* Si no es posible la provisión de una zona de protección peatonal en la calzada.

** Si existe o es necesaria la provisión de una zona de protección peatonal.

El conteo de peatones se debe extender en área que tenga como mínimo de 50 metros a cada lado de localización de la vía en estudio y si es rural mínimo 100 m a cada lado.

4.14. Drenaje de la corona

La corona es la superficie de la vía conformada por las calzadas, bermas y sobrecanchos. El efecto del agua en la vía genera problemas de seguridad, al disminuir la visibilidad y la posibilidad de que se genere hidropneumático, fenómeno que ocurre cuando una lámina de agua continua quede involucrada entre los neumáticos y el pavimento, donde se reduce la cantidad de fricción disponible, produciendo el deslizamiento incontrolado del vehículo sobre la superficie húmeda.

Para el cálculo del espesor de película de agua y la velocidad de inicio del hidropneumático se empleará el método Gallaway. (INVIAS, 2009)

$$H = 0,01485 \left(\frac{PMT^{0,11} * L_R^{0,43} * I^{0,59}}{S_R^{0,42}} \right) - PMT$$

Donde:

H : Espesor de la película de agua sobre las asperezas del pavimento al final de la trayectoria de flujo, en milímetros (mm)

L_R : Longitud resultante de la trayectoria de flujo, en metros (m)

S_R : Pendiente resultante, en metros por metro (m/m)

I : Intensidad de la lluvia, en milímetros por hora (mm/h)

PMT : Profundidad media de textura, en milímetros (mm) (se suele usar 0.5 mm para diseño, salvo que las condiciones del pavimento hagan recomendable otro valor)

Se recomienda que para prevenir el hidroplaneo, el espesor de la película de agua no debería exceder 4 milímetros, se propone la siguiente expresión (Para velocidades inferiores a 90 km/h) (INVIAS, 2009):

$$V_H = 0,9143 * SD^{0,04} * P^{0,3} * (TD + 0,794)^{0,06} * A$$

Donde:

V_H : Velocidad a la cual se produce el hidroplaneo, en kilómetros por hora (km/h)

P : Presión de inflado del neumático, en kilopascales (kPa) (se recomienda usar 165 kPa para el diseño)

TD : Profundidad del labrado del neumático, en milímetros (mm) (para diseño, se recomienda usar 0.5 mm)

SD : Porcentaje de disminución de la velocidad rotacional de la rueda a causa de su circulación sobre una superficie con una película de agua. Se considera que el hidroplaneo comienza con un valor de SD de 10%. Ello ocurre cuando la rueda gira 1.1 veces su circunferencia para avanzar una distancia igual a su circunferencia.

$$SD = \frac{(W_d - W_w)}{W_d} * 100$$

W_d : Velocidad rotacional de una rueda que gira sobre una superficie seca.

W_w : Velocidad rotacional de una rueda debido al contacto con un pavimento encharcado.

A : El mayor de los valores calculados con las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{12,639}{H^{0,06}} + 3,5$$

$$A = \left(\frac{22,351}{H^{0,06}} - 4,97 \right) * PMT^{0,14}$$

Para una película de agua menor de 2.4 mm, se recomienda la siguiente expresión:

$$V_H = 96,60 * H^{-0,259}$$

Donde:

V_H : Velocidad a la cual se produce el hidropneumático, en kilómetros por hora (km/h).

H : Espesor de la película de agua, en milímetros (mm).

Cálculo del tiempo de concentración:

$$T_C = \frac{6,99 * L_R^{0,6} * n^{0,6}}{I^{0,4} * S_R^{0,3}}$$

Donde:

T_C = Tiempo de concentración, en minutos (min).

L_R = Longitud resultante de la trayectoria de flujo, en metros (m).

$$L_R = \sqrt{1 + \left(\frac{S}{S_x} \right)^2}$$

Ancho de la corona con bombeo uniforme = W (m)

Pendiente Longitudinal = S (%)

Bombeo de la corona = S_x (%)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

I : Intensidad de lluvia, en milímetros por hora (mm/h).

S_R = Pendiente resultante de la trayectoria de flujo.

$$S_R = \sqrt{S^2 + S_x^2}$$

5. Metodología

A continuación, se presenta la metodología que fue empleada para desarrollar la guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales, relatando paso a paso, como se construyó el documento final.

5.1. Recolección de información secundaria

Se realizó un acercamiento a la Secretaría de Tránsito del Municipio de Popayán, con el fin de conocer de proyectos, solicitudes y autorizaciones de construcción de reductores de velocidad, solicitando la siguiente información:

- Estudio de ingeniería de tránsito.
- Estudio de volúmenes y composición vehicular.
- Estudio de volúmenes peatonales.
- Estudio de velocidades.
- Análisis de diseño geométrico.
- Análisis de siniestralidad.
- Determinación del sitio de ubicación del resalto.

La Secretaría de Tránsito del Municipio de Popayán, no cuenta con información de campo, por lo tanto, se hace necesario levantar dicha información para lograr caracterizar las vías de acuerdo con su clasificación.

Es importante tener en cuenta la información que el Manual de Señalización plantea obtener para tomar la decisión de ser construido. Dicha información se espera encontrar como sustento de la toma de la decisión de construir un reductor de velocidad.

Buscando colocar en contexto de cual es la información que se espera encontrar buscando aprobar la construcción de un dispositivo, se espera obtener la siguiente:

5.1.1. Solicitud por parte de la comunidad de la problemática o evaluación de la entidad de un punto de siniestralidad.

La implementación de un reductor de velocidad inicia generalmente con la solicitud de la comunidad, luego de un recorrido se determinan las características geométricas y de seguridad vial, para lo cual se levanta la información de campo. Esta parte no se encuentra evidencia en la Secretaría de Tránsito Municipal.

5.1.2. Estudio técnico de ingeniería de tránsito recomendado por el Manual de señalización 2015.

En la Secretaría de Tránsito Municipal de Popayán, no cuentan con algún estudio de respaldo para la toma de la decisión, donde se evidencie la necesidad y contraste con los estudios necesarios para tomar dicha decisión.

En el Manual de Señalización Vial 2015 del INVIAS, específicamente en el numeral 5.8 Reductores de velocidad, resaltos, se indica lo siguiente:

El manual adopta los reductores de velocidad buscando reducir la velocidad promedio hasta 30 Km/h, lo cual es recomendable para zonas residenciales. Esta condición la restringe en los siguientes casos:

- Vías principales, autopistas o carreteras. (En las carreteras se aprueba sólo si pasan por un sector urbano).
- Vías urbanas con velocidades igual o mayores a 70 km/h.
- Que su TPD sea superior a 500 vehículos.
- Con vehículos pesados que supere el 5 %.
- Vías interurbanas.
- Vías con pendientes superiores del 8 %.

De igual forma presenta una serie de alternativas de resaltos, que a continuación se detallan:

- Resalto trapezoidal o pompeyano.
- Resalto parabólico o circular.
- Resalto portátil.
- Resalto tipo cojín.

Para la construcción de un resalto, se requiere siempre de un estudio de ingeniería de tránsito que demuestre la conveniencia de su instalación y el tipo de resalto a utilizar. El estudio técnico de ingeniería debe contener como mínimo:

- Estudio de volúmenes y composición vehicular.
- Estudio de volúmenes peatonales.
- Estudio de velocidades.
- Análisis de diseño geométrico.
- Análisis de siniestralidad.
- Determinación del sitio de ubicación del resalto.

5.1.3. Aprobación del proyecto para iniciar el proceso de contratación y/o construcción del dispositivo.

La entidad a cargo de la vía debe ser quien autorice en definitiva la construcción y verificar que se haya instalado la señalización vertical y horizontal complementaria reglamentada, antes de dar al servicio el resalto.

Elaborando un documento en el cual respalde la decisión, sustentada solamente por argumentos técnicos.

En este caso, al igual que los puntos anteriores, la entidad encargada no tiene registros de dicha labor.

5.1.4. Respuesta por parte de la Secretaría de Tránsito.

En su respuesta expresan que no se cuenta con puntos estudiados, sin embargo, nos proponen algunas vías que se pueden estudiar. Las cuales se exponen a continuación:

1. Ingreso vereda carrera 57N, la dirección exacta es la carrera 5A en el sector de desvío a la vereda Pisojé Alto.
2. Carrera 9 con ingreso a urbanización Cruz Roja, la dirección completa es Calle 64BNrr entre carrera 9 y 10A.
3. Calle 25N con carrera 4 (Sector Obras Públicas). La dirección completa es carrera 4 entre Calle 22N y 25N.
4. Carrera 9 con calle (Iglesia Cristiana). La dirección completa es calle 66N entre carrera 9 y 10.
5. Carrera 6 con calle (Torres del Campestre). La dirección completa es calle 42N entre carrera 5 y 6.

Es de resaltar que ninguna de las vías cuentan con estudios, ni tampoco han sido priorizados dentro del presupuesto de la Alcaldía de Popayán.

5.2. Revisión del diseño de reductores (Información Secundaria)

Dado que no se cuenta con la información secundaria, no se puede realizar la revisión de esta y no se logró determinar si se ha implementado lo solicitado por el Manual de señalización vial vigente.

La información que se esperaba encontrar es la siguiente:

5.2.1. Estudio de ingeniería de tránsito:

5.2.1.1. Estudio de volúmenes y composición vehicular.

En esta parte se debe contar con un estudio de caracterización del tránsito y su composición, del cual se obtiene el vehículo tipo y lograr determinar el tipo de dispositivo y su longitud.

5.2.1.2. Estudio de volúmenes peatonales.

El volumen de peatones permite seleccionar el tipo de pacificación que se implementará de forma adicional (Ver página 22, en especial página 35) a la construcción del reductor de velocidad.

5.2.1.3. Estudio de velocidades.

Se hace necesario determinar el tipo de vía y de esta forma se encuentra la velocidad

sugerida, medir la de operación en la zona, adoptar la de ingreso a la zona del reductor y la de salida del mismo (puede ser 5 km/h o 10km/h).

5.2.1.4. Análisis de diseño geométrico.

Esta parte nos debe indicar las características de la vía, como ancho de carril, tipo de circulación, pendiente de la vía, etc.

5.2.1.5. Análisis de siniestralidad.

Se debe contar con información de casos de siniestralidad, en caso de contar con ellos es un indicativo de que la intervención es inminente y la solución a dicha problemática debe encontrarse en el menor tiempo posible.

5.2.1.6. Determinación del sitio de ubicación del resalto.

La ubicación debe obedecer a un punto estratégico que no genere mayores problemas de los encontrados antes de implementar el dispositivo en ese sector.

5.3. Vías seleccionadas para estudiar:

Se tuvo en cuenta una de las vías recomendadas por la Secretaría de Tránsito del Municipio de Popayán que se encuentra en el sector rural y se propone otra vía diferente en el sector del norte de la ciudad.

5.3.1. Carrera 5A con Carrera 57 - Ingreso a la Vereda Pisojé Alto.

En este caso encontramos que se presenta un problema en la geometría de la vía, principalmente en el ingreso a la Vereda Pisojé Alto, debido al paso de volquetas en este sector, además presenta problemas de aguas lluvias, es una vía de desvío de la carrera 6 cuando la carrera 9 llega a su capacidad vial, cuenta con circulación de bicicletas (ciclovía) y peatones, tiene edificaciones recreativas, educativas y comerciales.

5.3.2. Calle 78 entre carrera 9 y variante.

Esta vía sirve de ingreso a los barrios del sector, que comunica la carrera 9 con la variante (ruta 25), actualmente comunica la ciudad con barrios nuevos cercanos a la variante. Presenta problemas con la recolección de aguas lluvias, con presencia de instituciones educativas, esta zona cuenta con un espacio que algunos destinan para atletismo y ciclismo.

5.4. Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales

Para lograr los objetivos propuestos se desarrolló los siguientes puntos:

5.4.1. Revisar la literatura internacional.

Se consultaron varios documentos que evalúan el comportamiento de los vehículos al cruzar un resalto parabólico. Luego de profundizar en varios artículos y libros se consideraron los siguientes:

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2.018. AASHTO.
2. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways 2.009 Edition - Revision 1, 2 y 3. Federal Highway Administration.
3. Traffic Calming Guidelines - 2.016. Institute of Transportation Engineers (ITE).
4. Temporary Speed Hump Impact Evaluation 2.002. IOWA Department of Transportation.
5. Speed Hump Program Manual. 2.008. gwinnettcounty Department of Transportation.
6. Updated Guidelines for the Design and Application of Speed Humps - 2.007. Margaret Parkhill, Rudolph Sooklall, Geni Bahar.
7. Impacts of Traffic Calming 2.000. Reid Ewing.
8. Towards a Canadian Standard for the geometric design - 1.998. Philip A. Weber.
9. Manual de pacificadores de velocidad en vías urbanas. - 2.010. Uptc - Victor Socha y Carlos Tapias.
10. Instrucción Técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la Red de Carreteras del Estado. - 2.008 - Gobierno de España.

5.4.2. Adopción de los estudios aplicados en otros países y propuesta de mejoras.

Para cumplir con el objetivo propuesto en la tesis se consideraron los siguientes documentos:

1. Traffic Calming Guidelines - 2.016. Institute of Transportation Engineers (ITE).
2. Updated Guidelines for the Design and Application of Speed Humps - 2.007. Margaret Parkhill, Rudolph Sooklall, Geni Bahar.
3. Instrucción Técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la Red de Carreteras del Estado. - 2.008 - Gobierno de España.

La propuesta de mejora será enfocada a nuestro Manual de Señalización del INVIAS - 2015, con el objetivo de avanzar en profundizar en la metodología que permita tomar la decisión acerca del tipo del reductor de velocidad seleccionado.

La guía debe enmarcarse en lo siguiente:

1. Desarrollo y seguimiento de un proceso de consulta pública formal.
2. Determinar las necesidades de la carretera (vía rural) o la calle (vía urbana), realizando un análisis del área aferente o de impacto.

3. Poner en marcha el plan, con la etapa del estudio.
4. Construir y proyectar el mantenimiento del reductor de velocidad.
5. Monitorear y evaluar la eficacia de los reductores de velocidad.

En la etapa de diseño, es importante resaltar que se dará un enfoque especial al producto final que se espera obtener y se detalla a continuación:

1. Estudio de tránsito
2. Diseño geométrico
3. Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical.
4. Revisión paisajista del sector.
5. Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroplaneo y el efecto dique en el caso del reductor tipo joroba (Hump).
6. Diseño de pavimentos.

Los pasos enumerados en este literal, se desarrollarán y complementarán a lo largo de la guía.

5.4.3. Elaboración de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales.

A continuación se realiza un relato acerca de la construcción de las fases necesarias para lograr implementar y/o aprobar un reductor de velocidad en una vía urbana o rural.

5.4.3.1. Desarrollo y seguimiento de un proceso de consulta pública formal.

En la literatura internacional encontramos como propuesta para tratar temas de movilidad, la implementación de proyectos de pacificación del tránsito, que puede partir de una iniciativa pública o cívica, para ello en las fases iniciales son importantes las audiencias públicas, previo a la solicitud escrita de la búsqueda de una solución a dicha problemática, se plantea en la guía la siguiente metodología:

5.4.3.1.1. Desarrollo del proceso.

Los requisitos de petición son una de las formas de encontrar apoyo, se convierten en un mecanismo de evaluación del compromiso de la comunidad; ya que al solicitar las firmas como respaldo de la solicitud se adquiere un vínculo con la participación en la socialización del proyecto final. Para ello se desarrollo la metodología en la guía y se plantea cuatro partes que se detallan a continuación:

1. Solicitudes de la comunidad para calmar el tráfico o la identificación de la necesidad por parte de un grupo técnico de la entidad estatal.
 - Formulario de la petición. Se desarrolló un modelo para el ingreso de datos básicos, los cuales son detallados por la comunidad en los anexos de la guía. Es de tener en cuenta que el área técnica de movilidad de la ciudad, también puede proponer sitios críticos a evaluar.

- Formulario para la evaluación de la solicitud. La entidad encargada de la movilidad ya sea de una calle o de una carretera debe emitir un concepto con los datos suministrados por la comunidad, es importante en esta etapa revisar que la vía no se encuentre entre ninguna de las limitaciones (Ver página 59).
 - Limitaciones. Se debe tener en cuenta la fluidez del tráfico, por lo tanto, una vía que cuente con un volumen alto de tráfico y en ella se instale un reductor de velocidad, causaría congestión con gran facilidad. Debemos evaluar claramente que nuestro diseño no se encuentre en ninguna de las limitaciones, el proyecto en su factibilidad debe detectar que técnicamente no se debe continuar, para ello en la guía se enumeran algunos parámetros (ver página 59), que deben ser tenidos en cuenta para descartar la construcción de un reductor de velocidad.
 - Formulario de elegibilidad. Deben aparecer las conclusiones o aportes por parte del área técnica multidisciplinaria, recomendando o rechazando continuar con la etapa de estudios y diseños.
 - Determinar parámetros básicos como: la velocidad del percentil 85, el límite de velocidad de la vía, el tráfico promedio diario, además el porcentaje de la comunidad afectada. Estos parámetros deben quedar consignados en el formato de elegibilidad, en las observaciones.
 - Determinar claramente la vía o el área aferente a la solicitud de la comunidad. En este caso en el área de observaciones del formato de elegibilidad o sólo es un dibujo esquemático, el cual sirve como referencia para el inicio de los estudios, si se decide pasar a la etapa de diseños. Se puede emplear el formato de área aferente o sencillamente será un dibujo a mano alzada, anexo a la solicitud.
2. Evaluación de la solicitud por parte del grupo de emergencia, teniendo en cuenta las rutas de los vehículos de atención a emergencias. Debe quedar en el formulario de elegibilidad en el área de observaciones, claramente se debe detallar alguna propuesta por parte del equipo interdisciplinario.
 3. El diseño de la solución debe ser integral, en donde la implementación del dispositivo debe realizarse cumpliendo con todas las especificaciones técnicas que garanticen la seguridad al tránsito, de tal forma que el presupuesto sea el resultado de este ejercicio técnico y la comunidad debe realizar la defensa y avanzar en la priorización del proyecto en el presupuesto municipal.

5.4.3.1.2. Evaluación de las solicitudes.

El inicio de esta etapa es señal de que se ha priorizado por parte del comité interdisciplinario.

En esta etapa se debe tener en cuenta la prioridad de la solicitud y anexo a la guía se cuenta con un formato de evaluación, se desarrollarán los siguientes pasos:

1. Clasificar el proyecto en función de:
 - Velocidad de la calle.

- Volúmenes de tráfico.
 - Puntos, tramos o sectores críticos de siniestralidad vial con causa probable de siniestro por exceso de velocidad.
 - Proximidad a escuelas, hospitales, centro médicos, operadores de tránsito, construcción y/o mantenimiento de vías, empresas de servicios públicos.
 - Espacio público, estructura de andenes, pasos peatonales, rutas de ciclorutas o rutas designadas para ciclistas o motociclistas.
 - Identificar transporte público en la zona.
 - Levantar un censo de propietarios de predios alrededor del proyecto.
2. Determinar los objetivos con el fin de contar con un análisis tanto para el diseño como para la evaluación después de la construcción del reductor de velocidad. Deben contener como mínimos los siguientes:
- Reducción de velocidad.
 - Reducir la infiltración del tráfico al sector.
 - Reducir el tráfico que ingresa de forma directa al sector, como restaurantes, centros comerciales, etc.

En esta etapa se desarrollaron dos modelos de formularios que se encontrarán anexos a la guía, evaluación la evaluación por parte del funcionario por parte del profesional del área técnica y la elegibilidad por parte del grupo interdisciplinario conformado para evaluar este tipo de solicitudes.

5.4.3.2. Etapa de diseño.

Teniendo en cuenta que el área técnica y el grupo interdisciplinario de profesionales ha encontrado que la problemática debe contar con un análisis más detallado y plantear su solución.

Cada uno de los estudios se detallan en la guía anexa a este documento. Los estudios son los siguientes:

5.4.3.2.1. Estudio de tránsito

El análisis del tránsito horario pico se debe realizar por carril, además, para el análisis se debe tener en cuenta la metodología propuesta en el Manual de Señalización en el numeral 6.1.3.1. Conflicto Vehículos - Peatones. (Descrita en el presente documento en el numeral 6.13. Conflicto vehículos - peatones.).

Debemos contar con los siguientes parámetros de análisis.

1. Estudio de volúmenes y composición vehicular.
2. Conflicto de tráfico multimodal
3. Estudio de volúmenes peatonales.
4. Estudio de velocidades.

5. Análisis de siniestralidad.
6. Definir si la calle es una ruta de emergencia.

La evaluación de los parámetros del tránsito nos permiten determinar la viabilidad del proyecto, ahora es el instante de avanzar en el diseño de la solución.

5.4.3.2.2. Diseño geométrico

La fase de diseño parte con una topografía detallada de la calle en estudio, donde se aprecie las condiciones del terreno existente y su perfil.

El diseño geométrico debe estar compuesto por:

- **Diseño geométrico de la vía.**
Cuando el proyecto incluye cambios de tipo urbanístico y paisajismo del entorno de la vía, se debe realizar el diseño integral del espacio público integrado a la vía.

Hay que tener en cuenta que la desaceleración del vehículo y la posterior aceleración luego de cruzar el reductor de velocidad, hace que la estructura de pavimento cambie en el sector determinado en el diseño de pavimentos, por lo tanto, se debe diseñar la rasante nueva si es el caso, como propuesta integral de diseño.

En el caso de contar con un proyecto temporal, como es la instalación de un reductor de velocidad tope, resalto portátil, tope reductor easy rider, tope reductor safety rider o reductor virtual, en estos casos no es necesario un diseño geométrico.

- **Geometría del dispositivo y su ubicación.**
Tener claras las limitaciones (Ver página 59), ayuda a encontrar una buena ubicación del dispositivo, además, debemos seleccionar el tipo de reductor: tope, circular, parabólico, sinusoidal, trapezoidal, cojín, entre otros.

En Colombia, el más empleado es el circular, por lo tanto, es el que se recomienda por su fácil construcción.

5.4.3.2.3. Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical.

En la Figura 52, se puede apreciar la propuesta de señalización dada por el Manual de Señalización del INVIAS 2.015, es aplicable tanto a carreteras y calles, además debe considerarse la determinación de sitios críticos por seguridad vial de acuerdo a la metodología de la ANSV. Así como la señalización mínima necesaria para prevenir, alertar y reglamentar, previo al tránsito por el dispositivo.

En esta etapa el producto final son los planos de localización de la señalización, demarcación y la ubicación del dispositivo.

5.4.3.2.4. Revisión paisajista del sector.

En esta etapa del diseño se inicia desde el estudio de volúmenes de peatones, donde se debe calcular el área del espacio público donde sea cómoda la circulación de éstos.

¿Qué pasaría si se hicieran pequeños cambios temporales en el diseño de la calle, que permitieran probar un diseño o comunicar un uso diferente? El urbanismo táctico da respuesta a esta pregunta al surgir de un proceso de planeación orientado a la acción.

Como producto final se debe presentar la modelación del proyecto urbanístico y si se implementa urbanismo táctico se deben detallar las medidas adoptadas, hay que recordar que es provisional y sólo aplica en casos donde el desvío de los vehículos por esa zona es un caso temporal.

5.4.3.2.5. Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroplaneo o el efecto dique del dispositivo.

Hay que calcular la altura de la lámina de agua sobre la superficie del pavimento, teniendo en cuenta que en ningún caso debe conllevar a que las ranuras de la llanta pierdan el contacto con la superficie del pavimento.

En todos los casos el diseño hidráulico debe permitir que el drenaje superficial y si es el caso el subdrenaje deben ser controlados, ya sea por medio de canales, cunetas, capas drenantes o por medio de un sistema de estructuras de captación como son sumideros, evaluar si el colector es combinado evaluar si tiene la capacidad de transportar las aguas lluvias, preferiblemente la vía a intervenir debe contar con un colector exclusivo de aguas lluvias con la capacidad de permitir el control de las aguas lluvias.

El diseño debe ser radicado en la entidad correspondiente con el fin de lograr su aprobación y debe formar parte del documento que se radicará en la entidad que aprueba el diseño del dispositivo.

5.4.3.2.6. Diseño de pavimentos.

Hay que determinar la franja de aceleración y desaceleración, para lograr un modelo que no tenga inconvenientes desde el punto de vista estructural del pavimento, por lo tanto, debemos definir la velocidad de diseño de la vía, la longitud de la desaceleración, la velocidad a la que se quiere llegar antes y de salida del dispositivo, además, se calcula la longitud de aceleración.

Como generalidad para la implementación se cuenta en la parte anexa a la guía un modelo de formulario de chequeo del diseño de pavimentos, el anterior documento es sugerido y puede ser mejorado, tiene el contenido mínimo de un informe y se puede hacer un seguimiento y lograr el informe final para radicar a la entidad correspondiente, para su aprobación.

5.5. Aplicación de la guía a dos casos en la ciudad de Popayán

Tomando la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales propuesta, se estudiaron dos casos prácticos en la ciudad de Popayán, los cuales se presentan como documento anexo.

- Estudio y obtención de la información secundaria.
 - Ubicación de los reductores, si se encuentra cercana a un desvío, giro o intersección.
 - Clasificación del tipo de vía.
- Velocidad de la vía según el tipo de vía.

- Selección de los dos sitios para aplicar la Guía.
- Velocidad de ingreso y de salida del reductor.
- Procesamiento de la información para desarrollar la metodología.
- Diseño de los dos casos en la ciudad de Popayán.
- Lista de chequeo para el diseño de pavimentos y la propuesta constructiva.

5.6. Ajustes de la Guía.

- Revisar la aplicación de los casos diseñados, tomando como referencia la Guía propuesta.
 - La guía se puede aplicar en los casos estudiados, en donde se evidencia que la solución no necesariamente es la construcción del reductor, se deben estudiar otras medidas de pacificación del tránsito.
 - En los casos estudiados se encuentra que son zonas de desvío de la arteria principal hacia los destinos de los usuarios de la vía, los cuales causan conflicto entre los vehículos, ciclista y peatones.
- Propuesta de mejora de la Guía.
 - Para plantear una mejora integral, se debe evaluar varios tipos de vías y encontrar si en todos los casos es aplicable.
 - En este caso, las mejoras pueden ser visuales, aumentar modelos de planos, modelos de urbanismo, modelos de tipos de vías y sus esquemas viales.
 - Avanzar en la creación de una guía o manual que permita proponer proyectos integrales de seguridad vial, paisajismo y pacificación del tránsito.
 - En el caso de las vías que no cuentan con estructuras para el transporte de aguas lluvias, ni fuentes que permitan el vertimiento de ellas sin inconvenientes, la selección del dispositivo descarta la posibilidad de los reductores tipo tope, circular, parabólico, sinusoidal, trapezoidal y abre la posibilidad a los reductores tipo cojín que se convierten en alternativas más prácticas, ya que no generan un dique en la vía.

La mejora corresponde a encontrar estructuras de captación de las aguas lluvias, pensadas en la seguridad vial y que ayuden al transporte de ellas y que nos permitan construir cualquier tipo de reductor de velocidad.

6. Resultados

1. Estudio de Tránsito:

- Se caracteriza el tránsito y se encuentra el vehículo tipo de cada ejemplo.
- En los conteos se puede evidenciar que las vías se convierten en zonas de desvío, cuando la carrera 9 tiene inconvenientes de capacidad.
- Se encuentra el vehículo tipo de cada ejemplo.
- En el proceso de consulta con la comunidad se conocen de primera mano los conflictos entre peatones y ciclistas, dada la falta de una infraestructura adecuada, también se evidencian los conflictos entre motociclistas y vehículos.

El estudio de tránsito se obtuvo de tomar muestras diarias de 15 minutos y con ello se proyecta el tránsito, esta decisión se toma ya que es un ejercicio académico y por la falta de recursos se toma esa decisión.

2. Diseño geométrico:

- Con la topografía tomada se logra revisar el diseño geométrico de las vías estudiadas, para este caso las zonas son cercanas a un kilómetro.
- Se ubica el reductor de velocidad.
- Se selecciona el tipo de reductor de velocidad según el tránsito.

3. Seguridad vial:

- No se encuentra información de siniestralidad de la vía, pero en el proceso de consulta con la comunidad expresan que no existen siniestros en la zona.
- Se realiza la evaluación del conflicto entre peatones y vehículos por medio de la metodología del Manual de señalización INVIAS 2015, en donde se encuentra que el valor de PV^2 esta por debajo de 10^8 .
- Se toma la señalización propuesta en el manual del INVIAS 2015.
- Se propone realizar controles para evitar la circulación de vehículos motorizados en la ciclovía, aunque la construcción de viviendas a lo largo de ella y que por la falta de control urbanístico, en este instante contamos con casas que poseen garajes y por ende vehículos.

4. Revisión paisajista del sector:

- Frente a la carencia de un esquema vial adecuado al conflicto de la zona, se propone estudiar en una propuesta que contemple andenes a lo largo de la ciclovía para evitar el conflicto entre ciclistas y peatones, en ella cruces peatonales.
- Dado que las vías corresponden a problemas por desvío hacia zonas residenciales se puede evaluar medidas transitorias que refugien a los peatones y para ello el Ministerio de Transporte está a bordas de aprobar la Guía de urbanismo táctico en Colombia. Al respecto quiero aclarar que el urbanismo táctico nunca

es una medida de Pacificación del tránsito y es aplicable a vías urbanas, donde se quiere cambiar el uso de los espacios públicos, dando prioridad al peatón.

5. Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroplaneo o el efecto dique del dispositivo, se realizó el chequeo del hidroplaneo.
6. Diseño de pavimentos, se logró el objetivo, se presenta una metodología de diseño, una tabla de seguimiento de tal forma que se plantee una solución que evite el deterioro prematuro del pavimento cuando se construye un reductor de velocidad.
7. En el caso de la socialización con la comunidad queda pendiente, dado que estos ejemplos son un ejercicio académico que debe ser complementado con la definición del esquema vial, proyectar andenes a lo largo de la ciclovía, diseñar el giro de las volquetas hacia la vereda Pisojé Alto y con ello replantear el diseño geométrico de la ciclovía. En el caso de la calle 78N, se deben definir los andenes y plantear la posibilidad dentro del esquema vial la construcción de la ciclovía.

7. Análisis de los resultados

- La información de la solicitud por parte de la comunidad o del funcionario público, se convierte en el punto de partida del estudio, por lo tanto, se debe realizar las reuniones con la comunidad, en dicho proceso se logra conocer bajo su punto de vista la problemática de la vía, con esta información se logra planear el estudio de tránsito, de tal forma que se evidencien los conflictos con mayor facilidad.
- Las zonas urbanas deben encontrarse monitoriadas por la entidades públicas, por ejemplo:
 - La Secretaría de Tránsito o Movilidad debe identificar si se convirtieron en zonas residenciales en un desvío de las vías principales o colectoras, conflictos en el uso inadecuado de calles como zonas de parqueo prohibido.
 - La Secretaría de Infraestructura debe tener en su base de datos las características geométricas de las vías, el tipo de pavimento y su estado.
 - La Secretaría de Gobierno debe identificar conflictos entre los habitantes (usuarios de la vía), conflictos en espacios públicos y zonas de parqueo no permitidas.
 - La Secretaría de Planeación debe de forma constante estar revisando los perfiles viales y si es el caso plantear los cambios respectivos, siguiendo la normativa vigente.

De esta forma se accede a la información de forma rápida y permite realizar un diagnóstico aproximado para ir a los procesos comunitarios.

- La información de la Alcaldía debe ser asequible, en el caso de no encontrar datos es necesario solicitar al diseñador que alimente la base de datos de la entidad pública y debe existir una metodología o unos lineamientos mínimos al respecto.
- El POT debe encontrarse actualizado y los perfiles viales o esquemas viales deben estar definidos, con el fin de lograr una propuesta integral desde el punto de vista arquitectónico.
- En conclusión:
 - Los resultados obtenidos permiten detectar la problemática o conflicto entre los usuarios de las vías.
 - Se hace necesario profundizar en la solución integral, que es plantear un esquema vial adecuado, teniendo en cuenta el paisajismo y el espacio público necesario para disminuir al máximo el conflicto evidenciado.
 - Se debe contar con los diseños de las redes de alcantarillado pluvial, con el fin de garantizar el transporte de las aguas lluvias.
 - La solución integral de estos ejemplos se salen de este esquema académico y debe plantearse en otro escenario ya sea con recursos públicos o un trabajo de grado en conjunto con varios profesionales con el fin de plantear una solución integral.

8. Recomendaciones

- Continuar con el trabajo de profundización, ya que se debe avanzar en el tema de paisajismo, dicho trabajo sería importante complementarlo con la facultad de arquitectura.
- Realizar varios ejercicios académicos en pregrado y postgrado, evaluar diferentes tipos vías con el fin de calificar la efectividad de la guía en la toma de la decisión.
- Avanzar con el acercamiento de las entidades públicas, con el ánimo de encontrar consenso en la necesidad de contar con bases de datos confiables.
- Considero que en las calles o vías urbanas el POT debe tener en cuenta que las zonas residenciales que pueden convertirse en corredores de desvíos.
- Implementar las reuniones con la comunidad, evaluar medidas transitorias dentro del marco del Urbanismo Táctico, que permitan lograr espacios públicos en donde el peatón se convierta en el actor principal y se conviertan en propuestas innovadoras de convivencia.
- Con las empresas públicas se necesita avanzar en la construcción de colectores de aguas lluvias que permitan evacuar las aguas lluvias de las vías con facilidad y que los reductores no se conviertan en diques, como sucede en la actualidad en varias calles de Colombia.

En las carreteras se deben contar con servidumbres definidas jurídicamente, con el fin de transportar las aguas lluvias sin inconvenientes que cuenten con los permisos de vertimientos de la respectiva entidad ambiental.

- La ubicación y el tipo de reductor de velocidad debe estudiarse con detenimiento, ya que con la falta de colectores de aguas lluvias en las calles y descoles en las carreteras, pueden presentar problemas con la retención de aguas lluvias en las vías ocasionando hidroplaneo.
- En el caso de siniestralidad el reductor de velocidad es una alternativa de solución inmediata, pero su aplicación depende totalmente de un buen estudio, por lo tanto se recomienda realizar los estudios propuestos en la guía, teniendo en cuenta que el área aferente cobra gran importancia en la definición del tipo de dispositivo (circular o parabólico).
- Para conflicto con peatones en las intersecciones (vías urbanas), con éxito se han construido reductores trapezoidales que con campañas pedagógicas disminuyen la siniestralidad.
- Para la implementación de un reductor de velocidad en las carreteras (vías rurales), debe tenerse en cuenta distancia visual de decisión que es un poco mayor en longitud, desde donde se debe colocar la señal informativa de la existencia de un reductor de velocidad.

- En las carreteras (vías rurales) la geometría del dispositivo debe ser sinusoidal, ya que es un dispositivo de una longitud de 9.1 metros, con un ingreso mucho más suave y no presenta inconvenientes con los camiones y buses, que en algunos casos la caracterización del tránsito nos muestra un porcentaje mayor del 5 %, lo cual contradice la aplicabilidad del reductor de velocidad en este tipo de vías. En la parte constructiva además del dispositivo seleccionado, se debe tener en cuenta los planteamientos del diseño de pavimentos.
- Dentro del contenido de las especializaciones en Vías y Pavimentos, es importante contar con una mayor inducción acerca de la evacuación de las aguas lluvias en las calles y carreteras, conociendo los tipos de estructuras de captación, transporte y disposición de las aguas lluvias.

9. Conclusiones

- Con la información obtenida se logró aplicar la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales.
- Los resultados permiten plantear soluciones para disminuir la velocidad de operación, logrando que se encuentre por debajo de 30 km/h.
- Teniendo en cuenta la caracterización del tránsito, en donde se encuentra el vehículo tipo, se plantean diferentes alternativas de reductores de velocidad, con el fin de tomar una mejor decisión al aprobar el proyecto.
- Los reductores de velocidad planteados en la guía son técnicas de diseño geométrico y de pacificación del tránsito que se pueden aplicar para disminuir la velocidad vehicular en una vía (carretera o calle).
- La guía es un documento que contiene un marco general y que puede ser implementada en entidades públicas con el fin de avanzar en los estudios y diseños de dispositivos, en el caso de revisión de ellos permite tomar decisiones técnicas y aprobar con mayor facilidad un proyecto de este tipo.
- Se debe continuar con el proceso de la guía, aplicándola en varios ejercicios académicos, buscando medir su efectividad.

Referencias Bibliográficas

- AASHTO. (2018). *The green book a policy on geometric design of highways and streets* (7.^a ed., Vol. 7). Descargado de www.transportation.org
- Alejandro, T. B. (2014). *Impactos generados por reductores de velocidad instalados en carreteras* (Primera ed.). UCLA Center for Health Policy Research Los Angeles.
- Baez, V. A. S., y Montañez, C. G. T. (2010). Manual de pacificadores de velocidad en vías urbanas. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 1-92.
- CalyMayor, R., y Grisales, J. C. (2007). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones*. (Octava Edi ed.; C. y Mayor, Ed.). Cal y Mayor.
- Cárdenas, G. J. (2015). *Diseño geométrico de carreteras* (E. Ediciones, Ed.).
- Ewing, R. (1999). *Traffic calming state of the practice* (ITE, Ed.).
- German, A. V. (2020). *Vías urbanas una ciudad para todos* (Primera Edición ed.; A. Editorial, Ed.).
- Grisales, J. C. (2022). *Diseño geométrico de vías urbanas* (Primera ed.; E. Ediciones, Ed.).
- INVIAS, D. (2009). *Manual de diseño de drenajes viales*.
- ITE, N. E. (2016). *Traffic calming*.
- ManualSeñalizaciónINVIAS. (2015). *Manual de señalización invias* (Vol. 1).
- Parkhill, M., Sooklall, R., y Bahar, G. (2007). Updated guidelines for the design and application of speed humps. *Institute of Transportation Engineers Annual Meeting and Exhibit 2007, 1*, 318-330.
- Radelat, G. (2003). *Principios de ingeniería de tránsito* (Primera ed.; I. O. T. E. COMMITTEE, Ed.). Instituto of Transportation Engineers.
- US-DEPARTMENT-OF-TRANSPORTATION. (2009). *mutcd2009r1r2r3edition* (Revision 3 ed., Vol. 3; F. H. Administration, Ed.).
- Weber, P. A., y Braaksma, J. P. (2000). Towards a north american geometric design standard for speed humps. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 70, 30-34.
- Ziolkowski, R. (2014). Influence of traffic calming measures on drivers' behaviour. *9th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2014*. doi: 10.3846/enviro.2014.180