

Guía de Orientación para la Implementación de Reductores de Velocidad

Tania Camila Urrea Tibaduiza, Sebastian Andres Malaver Quiñonez

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero(a) Civil

Director

Sandra Milena Cote Vargas

Magister en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A mis padres, Teresa y Miguel Ángel sinónimo de perseverancia y esfuerzo, quienes contribuyen cada día en mi formación como persona y fueron un pilar fundamental a lo largo de este proceso, gracias por cada día confiar y creer en mí, son el mayor tesoro que Dios me dio.

A mis maestros, familiares y amigos, quienes me acompañaron estos cinco años y compartieron conmigo su conocimiento, alegrías y tristezas.

TANIA CAMILA URREA TIBADUIZA

A mi familia, especialmente a mi madre por su amor, trabajo y sacrificio, y gracias a esto he logrado llegar hasta aquí y ser lo que soy.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

SEBASTIAN ANDRES MALAVER QUIÑONEZ

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 Marco referencial	15
3 Metodología	20
3.1 Revisión sistemática	20
3.2 Selección y caracterización de la zona de estudio	21
3.2.1 Estudio de volúmenes y composición vehicular.....	25
3.2.2 Estudio de volúmenes peatonales.	31
3.2.3 Estudio de velocidades.....	33
3.3 Análisis y manejo de información.....	36
3.4 Elaboración de una guía para la implementación de reductores de velocidad.	39
4 Conclusiones	40
5 Recomendaciones.....	41
Referencias bibliográficas.....	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Siniestralidad presentada en Bucaramanga.....	21
Figura 2. Víctimas fatales por accidentes de tránsito en Transversal Metropolitana zona Terminal de transportes de Bucaramanga.	22
Figura 3. Esquema del sitio estudiado.....	23
Figura 4. Señalización existente en el sentido del movimiento 1.	23
Figura 5. Reductor de velocidad existente en el sentido del movimiento 1.....	24
Figura 6. Demarcación de paso peatonal existente en el sentido del movimiento 1.....	24
Figura 7. Señalización existente en el sentido del movimiento 2.	24
Figura 8. Reductor de velocidad existente en el sentido del movimiento 2.....	25
Figura 9. Demarcación de paso peatonal existente en el sentido del movimiento 2.....	25
Figura 10. VE acumulado por horas para día típico - movimiento 1.	27
Figura 11. VE acumulado por horas para día típico - movimiento 2.....	27
Figura 12. VE acumulado por horas para día atípico - movimiento 1.	28
Figura 13. VE acumulado por horas para día atípico - movimiento 2.	28
Figura 14. Composición vehicular en Transversal Metropolitana zona del Terminal de transportes de Bucaramanga.	30
Figura 15. Perfil horario de volúmenes peatonales para día típico.	31
Figura 16. Perfil horario de volúmenes peatonales para día atípico.	31
Figura 17. Medios de transporte empleados por los peatones que se van durante la hora de máxima demanda peatonal.....	32

Figura 18. Medios de transporte empleados por los peatones que llegan durante la hora de máxima demanda peatonal.....	33
Figura 19. Expresión matemática de la velocidad en el movimiento uniforme.....	34
Figura 20. Resalto circular.....	37
Figura 21. Esquema de la señalización horizontal propuesta.....	38

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores de equivalencia vehicular	26
Tabla 2. Vehículos hora máxima y mínima demanda día típico- movimiento 1.	29
Tabla 3. Vehículos hora máxima y mínima demanda día típico- movimiento 2.	29
Tabla 4. Vehículos hora máxima y mínima demanda día atípico - movimiento 1.	29
Tabla 5. Vehículos hora máxima y mínima demanda día atípico - movimiento 2.	29
Tabla 6. Velocidad media en hora pico para día atípico - movimiento 2.	34
Tabla 7. Velocidad media en hora pico para día atípico - movimiento 1.	34
Tabla 8. Velocidad media en hora valle para día típico - movimiento 1.	35
Tabla 9. Velocidad media en hora valle para día típico - movimiento 2.	35

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Formato de aforo vehicular

Apéndice B. Guía para la implementación de reductores de velocidad

RESUMEN

TÍTULO: GUÍA DE ORIENTACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDUCTORES DE VELOCIDAD*

AUTORES: SEBASTIAN ANDRES MALAVER QUIÑONEZ
TANIA CAMILA URREA TIBADUIZA**

PALABRAS CLAVE: RESALTO, REDUCTOR DE VELOCIDAD, GUÍA, ACCIDENTALIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Los accidentes de tránsito son la causa de un gran número de muertes de peatones a nivel mundial, la vulnerabilidad de los mismos ante estas situaciones ha creado la necesidad de implantar medidas de pacificación del flujo vehicular. Una de las medidas más efectivas para reducir la velocidad de los vehículos de manera coercitiva es el resalto, en el que su geometría de diseño es el factor más influyente en el porcentaje de disminución de la velocidad de circulación y en la sensación de comodidad de los ocupantes del vehículo. Para establecer los diseños recomendados de resalto es preciso indagar en las normas vigentes en distintos países, documentación e investigaciones que profundizan en los efectos que provocan los reductores de velocidad al ser implementados a lo largo de la calzada. Mediante estudios de tránsito se pretende realizar el diagnóstico de un cruce vehicular en el municipio de Bucaramanga, seleccionado teniendo en cuenta la siniestralidad presentada en el sitio, y con base en los resultados, recomendar la instalación de un resalto que se adapte a las características de la zona. Finalmente se pretende elaborar una guía con las principales recomendaciones y sugerencias a tener en cuenta para la implementación de los tipos de reductor de velocidad más usados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Sandra Milena Cote Vargas, Magister en Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: ORIENTATION GUIDE FOR IMPLEMENTATION OF SPEED REDUCERS*

AUTHORS: SEBASTIAN ANDRES MALAVER QUIÑONEZ
TANIA CAMILA URREA TIBADUIZA**

KEY WORDS: HUMP, SPEED REDUCER, GUIDE, ACCIDENT

DESCRIPTION:

Traffic accidents are the cause of a large number of pedestrian deaths worldwide, their vulnerability to these situations has created the need to implement measures that result in the pacification of vehicular flow. One of the most effective measures to reduce the speed of vehicles is the speed hump, in which its design geometry is the most influential factor in the percentage of decrease in the speed of movement and in the feeling of comfort of the driver and the vehicle occupants. To establish the recommended speed hump designs, it is necessary to inquire into the current regulations in different countries, documentation and research that deepen the effects caused by the speed reducers when these are implemented along of the road. Through traffic researches it is intended to diagnose a vehicular crossing in the municipality of Bucaramanga, it was selected based mainly on the accident rate presented on the study site, and based on the results, recommend the installation of a speed reducer that suits to the characteristics of the study zone. Finally, it is intended to make a guide with the main recommendations and suggestions to take into account for the implementation of the main types of speed reducer.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Sandra Milena Cote Vargas, Magister en Ingeniería Civil.

Introducción

A través de los años el hombre ha visto la necesidad de transportarse y comercializar productos y servicios hacia otras regiones para fortalecer el crecimiento económico de las mismas, en sus inicios lo hacían sobre su propio cuerpo o utilizando animales. Los medios de transporte utilizados han venido evolucionando con el fin de reducir los tiempos y costos de desplazamiento, llevando a la creación de un medio de transporte que satisfaga las condiciones de desplazamiento seguro y eficiente como lo es el vehículo. La creación y transformación de este medio constituyó un avance fundamental en materia vial; el buen estado y mantenimiento de los caminos le permiten al vehículo desempeñarse correctamente y alcanzar grandes velocidades. Por otra parte, el exceso de velocidad de un vehículo acompañado de otros factores como las condiciones de la vía y el entorno contribuyen a la inseguridad, ocurrencia y trascendencia de los accidentes de tránsito. Con el aumento de los riesgos y accidentes viales, surgió la necesidad de establecer unas normas y dispositivos para controlar la movilidad vial, dentro de estos instrumentos de control se encuentran las señales verticales y horizontales para la regulación del tráfico, no obstante, en puntos críticos como son los sitios con alta tasa de siniestro, gran flujo de peatones y en general lugares en donde es necesario controlar la velocidad vehicular, el uso de señalización no es totalmente efectivo y es necesario implementar instrumentos de control más severos como los reductores de velocidad. Debido a la inconsistencia de una documentación detallada en la que se consideren condiciones del entorno tales como: presencia significativa de peatones que circulan en la vía, velocidad máxima permitida, tipo de vehículo predominante en el tránsito y volumen vehicular, se pretende

plantear una guía que permita recomendar las dimensiones óptimas para el tipo de reductor de velocidad a utilizar.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar una guía de orientación para la implementación de reductores de velocidad. Caso ejemplo: un cruce vehicular en el municipio de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

Revisar documentación nacional e internacional sobre reductores de velocidad.

Recomendar la construcción de un tipo de reductor de velocidad en una intersección ubicada en el municipio de Bucaramanga teniendo en cuenta las características de la zona.

Elaborar una cartilla de recomendaciones para la implementación de reductores de velocidad.

2 Marco Referencial

El reductor de velocidad se implementa como pacificador de velocidad en los sectores de vías en las que se desee hacer un control estricto de la rapidez de conducción siempre que se hayan instalado previamente las medidas de señalización pertinentes y se compruebe que estas por sí solas no cumplen su objetivo (Ministerio de Fomento Gobierno de España, 2008). Dentro de la clasificación de estos dispositivos se encuentran el reductor de velocidad tipo resalto, que consiste en la elevación transversal de la calzada en una sección determinada de la vía (Por &

Directoral, n.d.); y el reductor de velocidad virtual, que consiste en la demarcación sobre la superficie de pavimento que busca generar en el conductor la sensación de estar observando un resalto con el propósito de inducirlo a disminuir la velocidad del vehículo (Ministerio de Transporte, 2015). Se ha demostrado que en los resaltos a diferencia del reductor virtual, el efecto en la disminución de la velocidad de los vehículos perdura en el tiempo (Antić, Pešić, Vujanić, & Lipovac, 2013).

La implementación de dispositivos reductores de velocidad tipo resalto se recomienda para zonas donde se presenta un alto grado de peatones atropellados o elevada vulnerabilidad de los mismos, accidentes de vehículos con presencia de víctimas fatales o grandes daños materiales. No se recomienda su uso en vías de alta velocidad, vías urbanas principales, trayectos con volumen vehicular superior a los 500veh/h, vías en las que el porcentaje de vehículos pesados sea mayor al 5% o con pendiente superior al 8%, salvo estaciones de peaje y acceso a las mismas, o donde el estudio técnico de ingeniería lo recomiende (Ministerio de Transporte, 2015).

Teniendo en cuenta la comodidad de viaje y la seguridad de conducción en un estudio bajo velocidades variables de 20-40km/h, los autores recomiendan dos reductores de velocidad con perfil circular: 10cm de alto y 6.7m de largo para 20km/h, y 7.5cm de alto y 6.7m de largo para velocidades de operación deseadas en un rango de 30-40km/h (Gedik, Bilgin, Lav, & Artan, 2019). Mediante la evaluación experimental en busca del diseño óptimo de resalto reductor de velocidad se comparan varios de los perfiles más usados en las carreteras de Kuwait y los modelos de optimización de los mismos generan las dimensiones de tres resaltos simétricos para velocidad máxima de 30km/h: perfil circular 6.3cm de alto y 4m de ancho, perfil polinomial grado 8 con elevación máxima de 7.2cm y extensión de 4m, y perfil con geometría trapezoidal de 6.3cm de alto, 1.97m de ancho de rampa y 50cm de ancho en la zona plana (Emad Khorshid &

Alfares, 2004). Los mismos autores realizan dos publicaciones más, en la primera presentan el diseño con de resalto polinomial grado 7 con 8.9cm de alto y 8m de ancho teniendo en cuenta la respuesta dinámica en la cabeza de aceleración del conductor para tramos de vía en donde la velocidad crítica o máxima sea de 60km/h (E. Khorshid & Alfares, 2006). En la segunda publicación añaden a la recomendación el reductor tipo pompeyano con dimensiones de 12cm de alto, 2m de ancho de zona plana y 2m de ancho de rampa para valores de velocidad máximos de 40km/h (Emad Khorshid, AlAli, & Alfares, 2018).

Con respecto a los resaltos trapezoidales, la normativa colombiana establece que el ancho mínimo recomendado de la zona plana para implementarlo como cruce peatonal es de 2.5m y sugiere su ubicación en accesos o salidas de vías que no cuenten con semáforos, y en cruces a mitad de cuadra en presencia o no de semáforización (Ministerio de Transporte, 2015) y sugieren su implementación en zonas escolares, parques infantiles y lugares públicos de alto flujo peatonal (*PROYECTO DE REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO CONSIDERANDO*, n.d.).

De la misma forma teniendo en cuenta los diseños americanos más implementados, Weber en su investigación sugiere tres diseños de resalto circular para vías con alta participación de automóviles y vehículos livianos: 10cm de alto y 5.2m de ancho para velocidades de 25km/h, 10cm de alto y 7.9m de ancho para velocidades de 35km/h, y 7.5cm de alto y 9.1m de ancho para velocidad máxima de operación de 45km/h. Con dichas dimensiones, el tránsito pesado tiene un mayor efecto en la reducción de la velocidad que los automóviles (“Towards a North American Geometric Design Standard for Speed Humps,” 2000).

La investigación de la respuesta dinámica de los vehículos ante diferentes tipos de resaltos reductores de velocidad usando un software de microsimulación, tuvo como resultado el perfil

trapezoidal o pompeyano de 10cm de alto, 3m de ancho en la zona plana y 2.7m de ancho en la rampa; el cual mostró una mejor respuesta en automóviles ante los parámetros analizados que los perfiles convencionales. Además sugiere el perfil sinusoidal de 8cm de alto y 8m de ancho, que presenta un mejor comportamiento para rutas de vehículos pesados a una velocidad de operación de 60km/h. Para su estudio se analizaron condiciones de geometría del resalto, respuesta dinámica del conductor y comodidad de conducción en el cruce del reductor de velocidad (Molan & Kordani, 2014).

En 2014, Kordani y Molan investigan la respuesta del vehículo en diferentes tipos de resaltos considerando la aceleración vertical, fuerza vertical y fuerza de suspensión del vehículo. En total realizaron 90 pruebas con los diferentes tipos de perfiles, concluyendo dos reductores con geometría trapezoidal que presentan la mejor respuesta ante las consideraciones analizadas; el primero con 10cm de alto, 3m de ancho en la zona plana y 2.5m de ancho en la rampa; y el segundo con 7.5cm de alto, 5.5 m de ancho en la zona plana y 1.8m de ancho en la rampa (Kordani, Molan, Monajjem, & Sadeghvaziri, 2014).

Mediante el análisis y posterior optimización de las dimensiones de los reductores de velocidad portátil más usados en China se obtuvieron 7 relaciones distintas de alto y ancho que el autor recomienda como indicadas para zonas escolares y residenciales, ya que provocan la reducción de la velocidad a aproximadamente 15km/h (Yuan & Han, 2012). Estos dispositivos son comúnmente elaborados en caucho, plástico o materiales sintéticos de bajo peso y alta resistencia al impacto. Deben tener un largo mayor o igual al 70% del ancho de carril en donde se pretende emplear. Al igual que el resalto portátil, el reductor tipo cojín generalmente es elaborado en caucho o plástico. El ancho del resalto tipo cojín está entre 2 a 3m y su longitud de 1.6 a 1.8m respectivamente, con una altura máxima de 7.5cm (Ministerio de Transporte, 2015).

Estos dispositivos responden a la necesidad de calmar la velocidad de los vehículos sin afectar la comodidad de usuarios de buses, camiones o carros de bomberos, dado que su longitud en dirección transversal a la calzada siempre es menor o igual que el eje de cualquiera de estos vehículos. A su vez se recomienda que la distancia entre el cojín y la acera sea mayor a un metro (Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú, n.d.).

También existen otros dispositivos usados como resaltos reductores de velocidad, que si bien no fueron diseñados con este objetivo, logran efectos muy similares. Los estoperoles son utilizados para la conformación de reductores de velocidad (Ministerio de Transporte, 2015), constituidos por líneas separadas entre sí 30 cm y con separación entre estoperoles de 30 cm en bandas de 1.8m a lo largo de la calzada, su geometría consiste en una sección de esfera con una base plana de 10cm de diámetro y una altura de 2m; y se fabrican en materiales de alta resistencia, cerámicos o de caucho prensado. No se recomienda su utilización en zonas residenciales, ya que incrementan los niveles de ruido y generan vibración al paso de los vehículos sobre estos dispositivos (Ministerio de Transporte, 2004).

La justificación para proveer un tipo de dispositivo u otro está relacionada con el grado de conflicto que presentan los movimientos o flujos peatonales y vehiculares. Un buen indicador del conflicto que se registra en el área está dado por la relación PV^2 , siendo P = peatones por hora y V= vehículos por hora; ambos valores correspondientes al promedio de cuatro horas. Para determinarlo, deben efectuarse conteos en forma horaria para el día en que un análisis preliminar indique como más conflictivo y en a lo menos seis horas de máximo flujo vehicular y/o peatonal (Ministerio de Transporte, 2015). La señalización vertical en la aproximación a un reductor de velocidad estará compuesta en general por las señales SR-30 (velocidad máxima permitida), SP-25 (proximidad a resalto), SP-46 (zona de peatones) y SP-25A (ubicación de resalto), dispuestas

en ese orden según el sentido de marcha de los vehículos. La señal SP-46 se dispondrá obligatoriamente en el caso de los reductores de tipo trapezoidal con función de paso de peatones y será recomendable en el caso en que exista un paso de peatones situado a continuación de los reductores de velocidad, así como en el caso de presencia significativa de peatones en las márgenes con riesgo de invasión de la calzada por parte de los mismos (Bernal Carretero, n.d.).

3 Metodología

El proceso para la elaboración de la guía se dividió en 4 etapas: revisión sistemática, selección y caracterización de la zona de estudio, análisis y manejo de información, y por último elaboración de una guía para la implementación de reductores de velocidad.

3.1 Revisión sistemática

Este proceso se llevó a cabo con la búsqueda de legislación vigente a nivel internacional y haciendo uso de los recursos electrónicos brindados por la universidad. Se realizó la búsqueda de investigaciones que ayudaron a complementar la información sobre reductores de velocidad contenida en las normas encontradas. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda de documentación fueron: reductor de velocidad, resalto, resalto trapezoidal, resalto portátil, y reductor lomo de asno. Esta búsqueda se realizó en las plataformas como: American Society of Civil Engineers (ASCE), SciELO, ELSEVIER, SPRINGER, SCOPUS y otros.

En cuanto a legislación vigente internacionalmente relacionada con reductores de velocidad, se encontraron los reglamentos adoptados en: Colombia, España, Ecuador, México y Perú.

Los documentos obtenidos en las plataformas electrónicas fueron debidamente leídos y analizados, se seleccionaron aquellos que contienen información relevante para cumplir el objetivo propuesto.

3.2 Selección y caracterización de la zona de estudio

ACCIDENTES POR COMUNAS TIPO DE ACCIDENTE	CON HERIDOS AÑO 2018	VICTIMAS EN LOS ACC AÑO 2018	SOLO DAÑOS AÑO 2018	TOTAL	% EN EL TOTAL
COMUNA 12 CABERA DEL LLANO	270	2	389	661	17%
COMUNA 3 SAN FRANCISCO	326	9	193	528	14%
COMUNA 13 ORIENTAL	279	3	232	514	13%
COMUNA 15 CENTRO	239	4	225	468	12%
COMUNA 6 CONCORDIA	157	6	148	311	8%
COMUNA 10 PROVENZA	105	3	112	220	6%
COMUNA 1 NORTE	113	5	58	176	5%
COMUNA 4 OCCIDENTAL	93	7	68	168	4%
COMUNA 5 GARCÍA ROVIRA	101	3	42	146	4%
COMUNA 8 SUROCCIDENTE	74	6	68	148	4%
COMUNA 9 LA PEDREGOSA	65	1	48	114	3%
COMUNA 17 MUTIS	64	4	31	99	3%
COMUNA 7 CIUDADELA	47	0	42	89	2%
COMUNA 14 MORRORRICO	42	4	27	73	2%
COMUNA 11 SUR OCCIDENTE	42	0	27	69	2%
COMUNA 2 NORORIENTAL	44	2	10	56	1%
COMUNA 16 LAGOS DEL CACIQUE	22	2	20	44	1%
TOTAL GENERAL	2083	61	1740	3884	100%

Figura 1. Siniestralidad presentada en Bucaramanga. Adaptado de Dirección de Tránsito de Bucaramanga “Accidentalidad Enero-diciembre 2018 en Bucaramanga”.

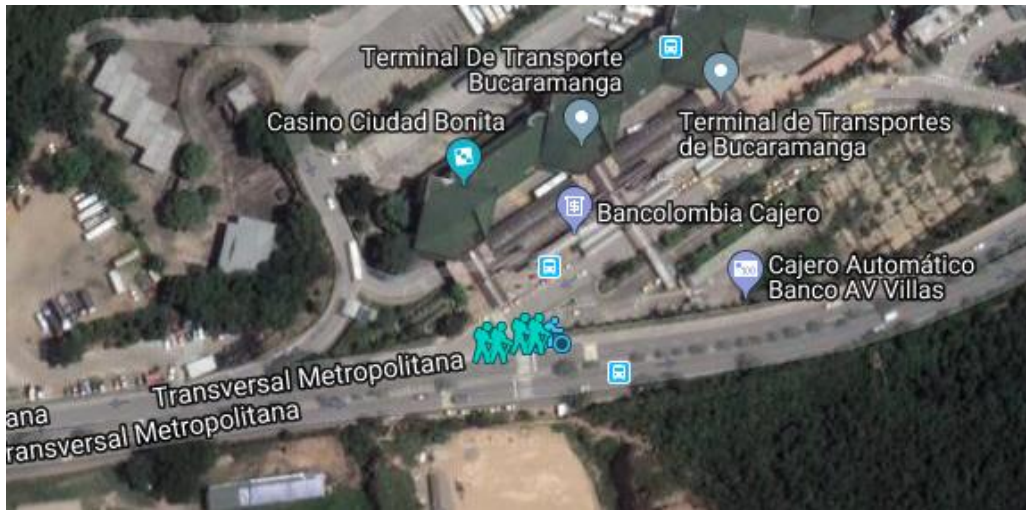


Figura 2. Víctimas fatales por accidentes de tránsito en Transversal Metropolitana zona Terminal de transportes de Bucaramanga.

Para la selección de la zona de estudio se tuvo en cuenta la siniestralidad presentada en la ciudad de Bucaramanga, reportada por la dirección de tránsito (Dirección de Tránsito de Bucaramanga, 2018). Se seleccionó el Terminal de Transportes de Bucaramanga que hace parte de la Comuna 8- Suroccidente, siendo este uno de los puntos con mayor accidentalidad de peatones entre los años 2018 y 2019 con 3 víctimas fatales registradas como se ilustra en la *Figura 2*. El terminal de transportes de Bucaramanga presentó el 50% de accidentes con víctimas fatales en la Comuna 8- Suroccidente del año 2018 (Prieto, n.d.).

El corredor vial estudiado es una vía de 4 carriles (2 por sentido), los cuales serán analizados simultáneamente. La vía presenta una pendiente de 4.6%, cuenta con demarcación de paso peatonal tipo cebra y un resalto virtual en cada sentido de circulación, además de señalización correspondiente con la existencia de un reductor de velocidad virtual.

Para la construcción de un reductor de velocidad, se requiere de un estudio de tránsito que debe contener: estudio de volúmenes y composición vehicular, estudio de volúmenes peatonales,

estudio de velocidades, análisis de diseño geométrico, análisis de siniestralidad y determinación del sitio de ubicación del resalto (Ministerio de Transporte, 2004).

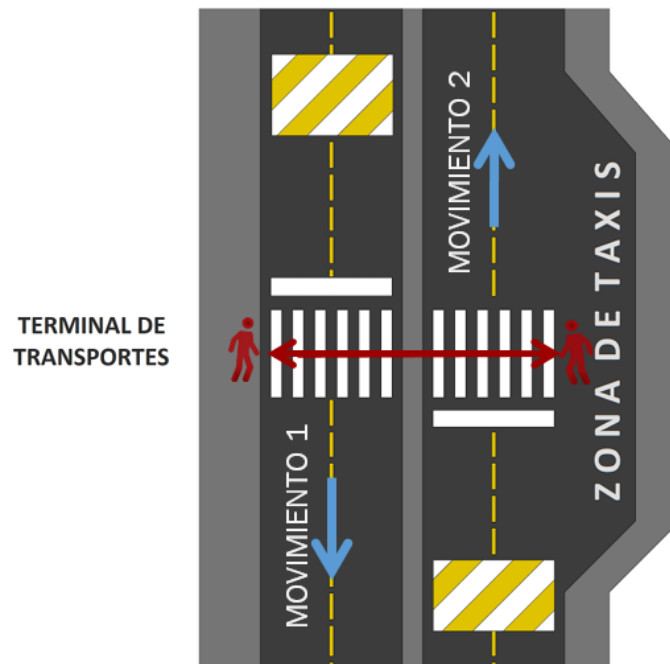


Figura 3. Esquema del sitio estudiado.



Figura 4. Señalización existente en el sentido del movimiento 1.



Figura 5. Reductor de velocidad existente en el sentido del movimiento 1.



Figura 6. Demarcación de paso peatonal existente en el sentido del movimiento 1.



Figura 7. Señalización existente en el sentido del movimiento 2.



Figura 8. Reductor de velocidad existente en el sentido del movimiento 2.



Figura 9. Demarcación de paso peatonal existente en el sentido del movimiento 2.

3.2.1 Estudio de volúmenes y composición vehicular.

Siguiendo el formato presentado en Apéndice A, se realizaron procesos de aforo vehicular con el objetivo de determinar los volúmenes vehiculares y su composición, las horas de máxima y mínima demanda en la zona de estudio, enfocados a peatones y vehículos respectivamente. Estos procesos de aforo se realizaron para un día típico (jueves) y un día atípico (viernes) de la semana.

Los conteos se realizaron entre las 7:00 a.m. y las 8:00 p.m. en intervalos de 15 minutos aforándose todos los sentidos de circulación. A continuación, se muestra el procedimiento de análisis de los datos aforados para la obtención de los valores de máxima y mínima demanda:

Para la conversión de tráfico mixto a vehículos equivalentes (VE), se usaron los factores de conversión que son:

Tabla 1.

Factores de equivalencia vehicular

Tipo de vehículo	VE
Bicicletas	0.5
Motocicletas	1.0
Automóviles, taxis, vehículos comerciales livianos	1.0
Buses	3.0
Vehículos comerciales medianos y pesados, vehículos de tracción animal	3.0

Nota: Adaptado de “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras Invias” (p.193, 2008).

Los vehículos equivalentes (VE) se obtienen del producto entre el número de vehículos por el factor correspondiente encontrado en la tabla. Teniendo los vehículos equivalentes para cada intervalo de tiempo, se procede a encontrar las horas de mayor y menor valor para cada sentido de circulación, siendo estas las horas de máxima y mínima demanda. A continuación, se muestran los datos obtenidos:

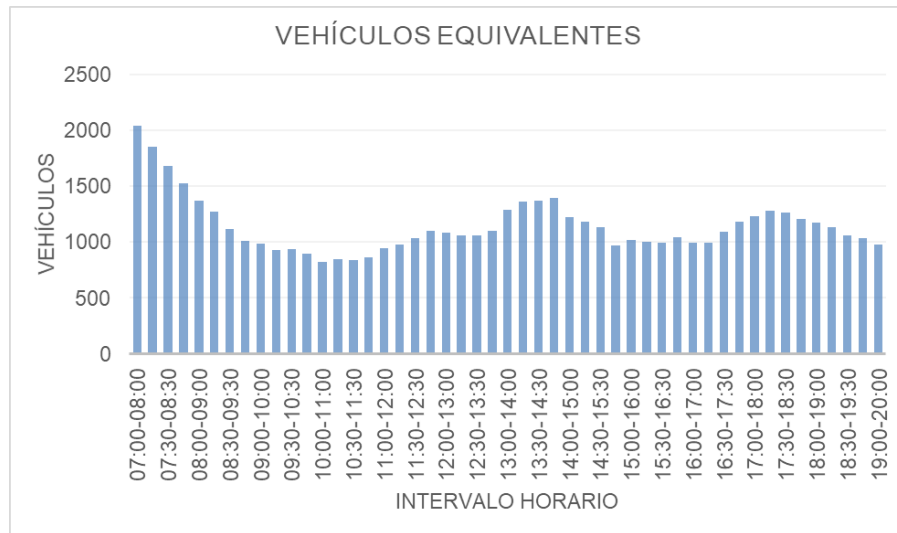


Figura 10. VE acumulado por horas para día típico - movimiento 1.

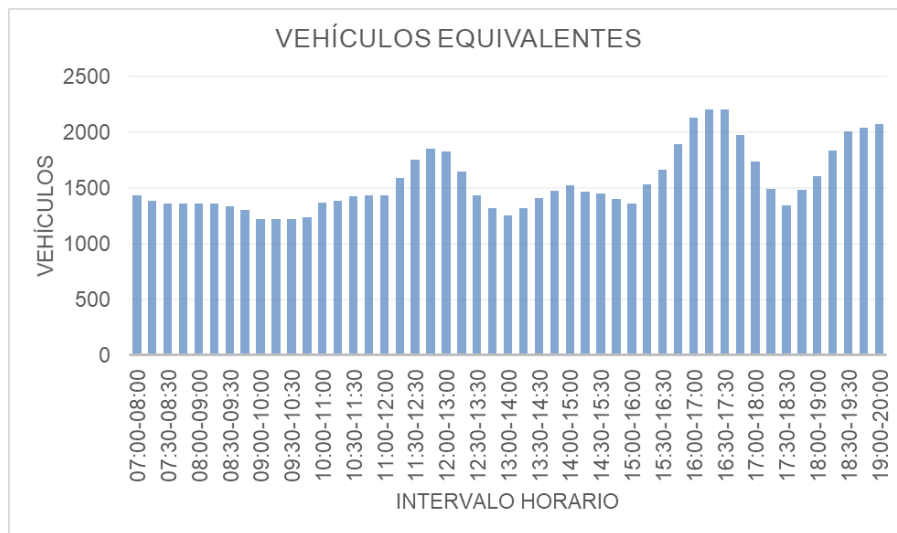


Figura 11. VE acumulado por horas para día típico - movimiento 2.

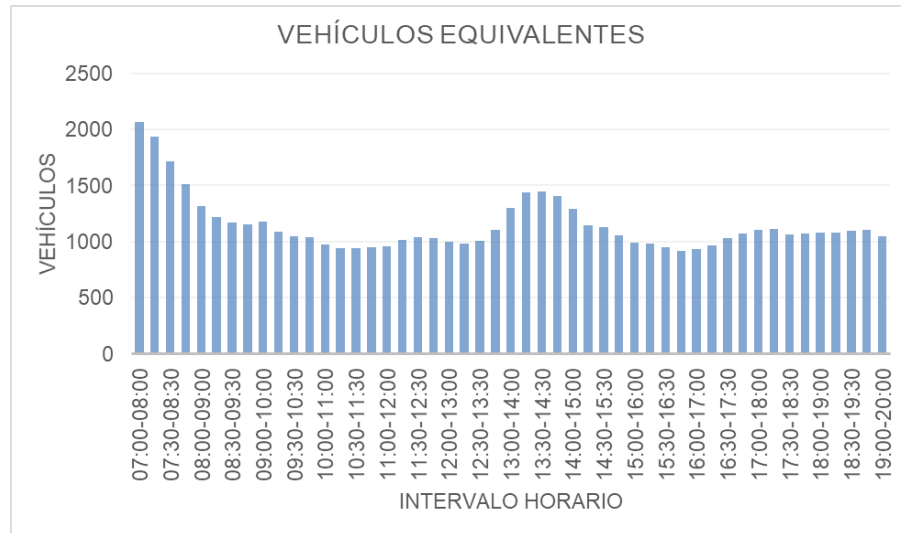


Figura 12. VE acumulado por horas para día atípico - movimiento 1.

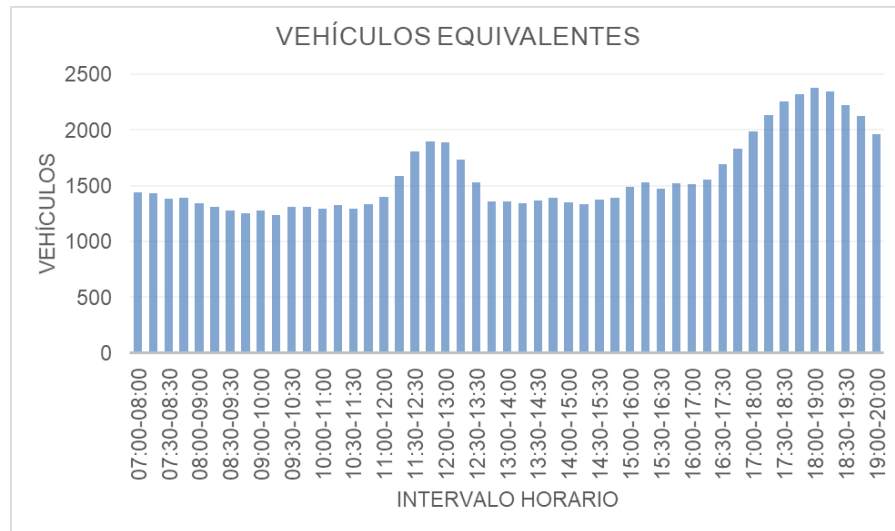


Figura 13. VE acumulado por horas para día atípico - movimiento 2.

Tabla 2.

Vehículos hora máxima y mínima demanda día típico- movimiento 1.

Vehículos hora máxima demanda (VHMD)	2037
Vehículos hora mínima demanda (vhmd)	825

Tabla 3.

Vehículos hora máxima y mínima demanda día típico- movimiento 2.

Vehículos hora máxima demanda (VHMD)	2208
Vehículos hora mínima demanda (vhmd)	1217

Tabla 4.

Vehículos hora máxima y mínima demanda día atípico - movimiento 1.

Vehículos hora máxima demanda (VHMD)	2069
Vehículos hora mínima demanda (vhmd)	918

Tabla 5.

Vehículos hora máxima y mínima demanda día atípico - movimiento 2.

Vehículos hora máxima demanda (VHMD)	2380
Vehículos hora mínima demanda (vhmd)	1235

Para el movimiento 1 se establece la hora de máxima demanda entre las 7:00 a.m. y 8:00 a.m. del día atípico con un volumen de 2068.5 vehículos equivalentes. Por otro lado, se establece la

hora de mínima demanda entre las 10:00 a.m. y las 11:00 a.m. del día típico con un volumen de 824.5 vehículos equivalentes.

Para el movimiento 2 se establece la hora de máxima demanda entre las 6 p.m. y 7:00 p.m. del día atípico con un volumen de 2379.5 VE (2164 vehículos). Por otro lado, se establece la hora de mínima demanda entre las 9:30 a.m. y las 10:30 a.m. del día típico con un volumen de 1216.5 vehículos equivalentes.

La composición vehicular se caracteriza por presentar una alta participación de motocicletas con un 50% y autos particulares con un 27%.

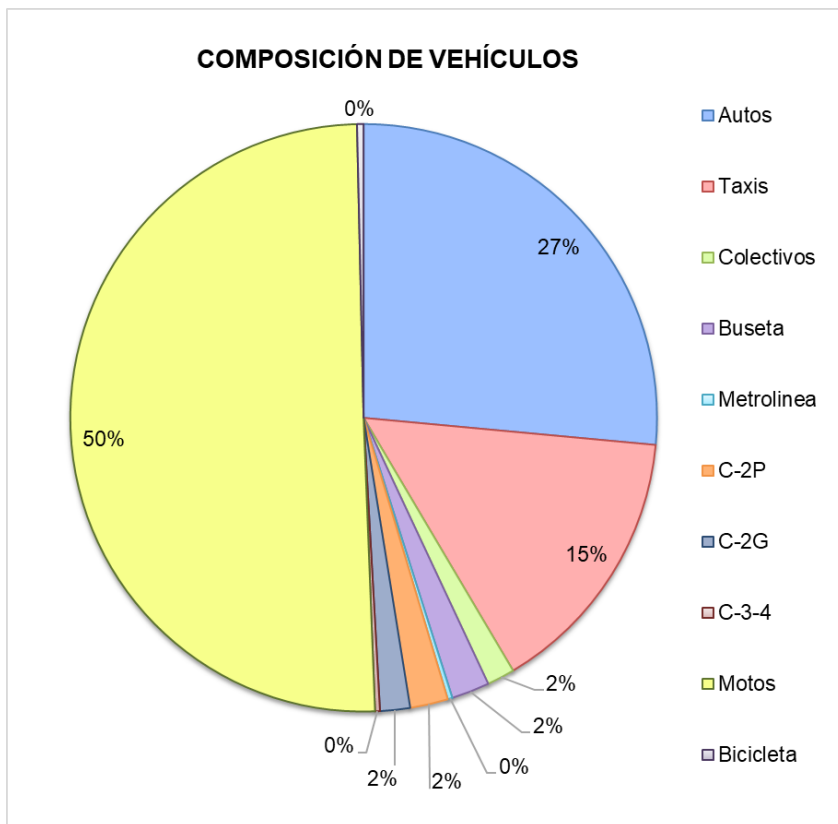


Figura 14. Composición vehicular en Transversal Metropolitana zona del Terminal de transportes de Bucaramanga.

3.2.2 Estudio de volúmenes peatonales.

Para el estudio de los volúmenes peatonales, se efectuaron conteos desde las 7:00 a.m. hasta las 8:00 p.m. de las personas que cruzan sobre la vía en los 2 movimientos posibles. También se hace la caracterización de los distintos medios que tienen los peatones para arribar y partir del sitio de estudio con el objetivo de conocer el medio de transporte más usado.

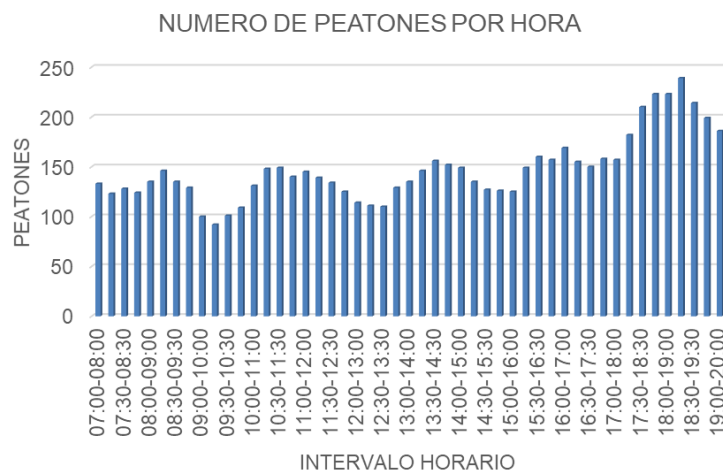


Figura 15. Perfil horario de volúmenes peatonales para día típico.



Figura 16. Perfil horario de volúmenes peatonales para día atípico.

Se establece la hora de máxima demanda de peatones entre las 6:15 p.m. y las 7:15 p.m. del día típico con un volumen de 239 peatones. De igual manera, la hora de máxima demanda de peatones se establece entre las 6:15 p.m. y las 7:15 p.m. para el día atípico con un valor pico de 283 peatones.

Existe una relación entre las horas en las que se presentan los máximos volúmenes vehiculares y peatonales, siendo este lapso de tiempo el que mayor riesgo representa para los peatones. La caracterización de los medios de transporte empleados se realizó en la hora de máxima demanda peatonal.

Periodo	Número de peatones que se van					
	A pie	Taxi	Particular	Bus	Metrolínea	Moto
18:15	3	19	0	5	3	1
18:30						
18:30	1	11	3	1	3	1
18:45						
18:45	0	6	1	4	2	1
19:00						
19:00	0	15	1	4	6	6
19:15						
	4%	53%	5%	14%	14%	9%

Figura 17. Medios de transporte empleados por los peatones que se van durante la hora de máxima demanda peatonal.

Periodo	Número de peatones que llegan					
	A pie	Taxi	Particular	Bus	Metrolínea	Moto
18:15	3	3	1	5	12	4
18:30						
18:30	3	13	7	4	4	3
18:45						
18:45	2	9	5	4	4	4
19:00						
19:00	3	15	4	3	0	6
19:15						
	9%	33%	14%	13%	17%	14%

Figura 18. Medios de transporte empleados por los peatones que llegan durante la hora de máxima demanda peatonal.

Se puede inferir de la Figura 17 y figura 18, que el medio de transporte predominante es el taxi con un porcentaje de 53% en la partida y 33% en la llegada.

3.2.3 Estudio de velocidades.

El estudio de velocidad se realizó siguiendo el método del vehículo flotante, en el cual el coche flotante trata de mantenerse flotando en la circulación, adelantando tantos vehículos como lo adelantan a él, o bien trata de circular a la velocidad media que el conductor estima que equivale a la velocidad media del tráfico (González Garrido, 1999). Este estudio se desarrolló en las horas de máxima y mínima demanda de vehículos para cada sentido de circulación. Para la determinación de la velocidad media, se tomaron 6 medidas de tiempo de recorrido a través de unas longitudes de 893.7 m para el movimiento 1 y 900.6 m para el movimiento 2. Usando el concepto mostrado en la *Figura 19*.

$$Velocidad = \frac{Espacio}{tiempo}$$

Figura 19. Expresión matemática de la velocidad en el movimiento uniforme.

Se hallaron 6 valores de velocidad, y finalmente se promediaron para obtener un único valor conocido como velocidad media.

Tabla 6.

Velocidad media en hora pico para día atípico - movimiento 2.

Medición	Duración [min]	Velocidad[km/h]
1	1,32	41,04
2	1,58	34,13
3	1,58	34,13
4	1,22	44,41
5	1,22	44,41
6	1,30	41,57
Velocidad media		39,95

Tabla 7.

Velocidad media en hora pico para día atípico - movimiento 1.

Medición	Duración [min]	Velocidad[km/h]
1	0,98	54,66
2	1,01	53,14

3	1,07	50,27
4	1,05	51,07
5	1,16	46,05
6	0,96	56,11
Velocidad media		51,88

Tabla 8.

Velocidad media en hora valle para día típico - movimiento 1.

Medición	Duración [min]	Velocidad[km/h]
1	0,93	57,45
2	0,98	54,53
3	0,95	56,44
4	0,90	59,58
5	0,97	55,47
6	0,98	54,53
Velocidad media		56,33

Tabla 9.

Velocidad media en hora valle para día típico - movimiento 2.

Medición	Duración [min]	Velocidad[km/h]
1	1,03	52,29

2	1,00	54,04
3	0,93	57,90
4	0,93	57,90
5	1,17	46,32
6	1,05	51,46
Velocidad media		53,32

3.3 Análisis y manejo de información

Por medio del aforo con el método del vehículo flotante se encontraron los valores máximos de velocidad promedio de circulación que corresponden a 56km/h para el movimiento 1 y 51km/h para el movimiento 2 respectivamente. La velocidad máxima permitida de la vía es de 30 km/h en ambos sentidos de circulación y cuenta con su debida señalización como se muestra en las Figura 4 y Figura 5. Como se puede observar, los valores calculados de velocidad media de los vehículos para cada sentido de circulación sobrepasan la velocidad máxima reglamentaria presente en la zona, de lo cual se puede deducir que los resaltos virtuales existentes no son efectivos para reducir la velocidad como ya se ha comprobado (Jaime, 2015).

La intersección analizada presenta volumen de máxima demanda vehicular de 2164veh/h, que es superior al valor máximo recomendado (500veh/h) para la implementación de dispositivos reductores de velocidad según las normativas internacionales. Por tanto, se debe analizar el nivel de vulnerabilidad o conflicto que los vehículos ejercen sobre el peatón para determinar la necesidad de otras medidas adicionales a la señalización existente que contribuyan con la seguridad de los peatones que transitan constantemente sobre la vía.

Teniendo en cuenta el número de peatones y vehículos presentes en la vía se calcula el nivel de conflicto vehículo-peatón que es un buen indicador del conflicto que se registra en el área. De acuerdo con la relación calculada $PV^2=12.1 \times 10^8$, se determina que únicamente el cruce peatonal tipo cebra no es una medida suficiente para el paso seguro del peatón en la zona de análisis (de acuerdo con la tabla 6.1-3 del Manual De Señalización Vial Dispositivos Uniformes Para La Regulación De Tránsito En Calles, Carretras Y Ciclorrutas De Colombia).

Debido a que la señalización vertical y horizontal no logran el objetivo de reducir la velocidad, se propone la implementación de un elemento más coercitivo en la disminución de la rapidez de conducción. Es una vía urbana en donde se requiere el tránsito vehicular a bajas velocidades por el paso permanente de peatones, presenta una pendiente del 4.6%, y predomina el tránsito de automóviles y motocicletas. Se recomienda la implementación de un resalto con perfil circular de 4 m de ancho y 6.3 cm de alto para los dos sentidos de circulación a una distancia de 15 m desde la demarcación de cruce peatonal.

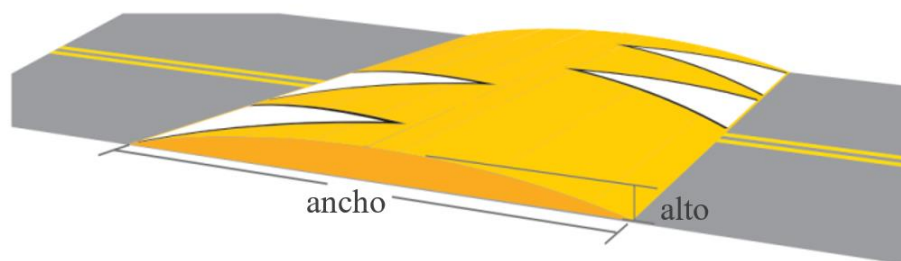


Figura 20. Resalto circular. Adaptado de “Manual De Señalización Vial Dispositivos Uniformes Para La Regulación De Tránsito En Calles, Carretras Y Ciclorrutas De Colombia”.

La implementación del reductor de velocidad debe estar apoyada por la instalación de las señales verticales SR-30 (30km/h), SP-25, SP-46 la cual se recomienda por ser un paso con presencia significativa de peatones, y SP-25A.

Las *Figura 4* y *Figura 5* muestran la señalización existente en cada uno de los sentidos de circulación, la cual se encuentra en buen estado y dispuesta en el orden correcto. Por lo tanto, solo se aconseja añadir la señal SP-25A (ubicación de resalto) a la señalización existente en ambos sentidos. El cruce peatonal tipo cebra identificado en el sitio de estudio tiene un ancho de 5.8m, el cual sobrepasa el valor del ancho máximo especificado. Para el caso de análisis se recomienda de 5.0m y es definido por la distancia a la intersección más cercana. (Ministerio de Transporte, 2015)

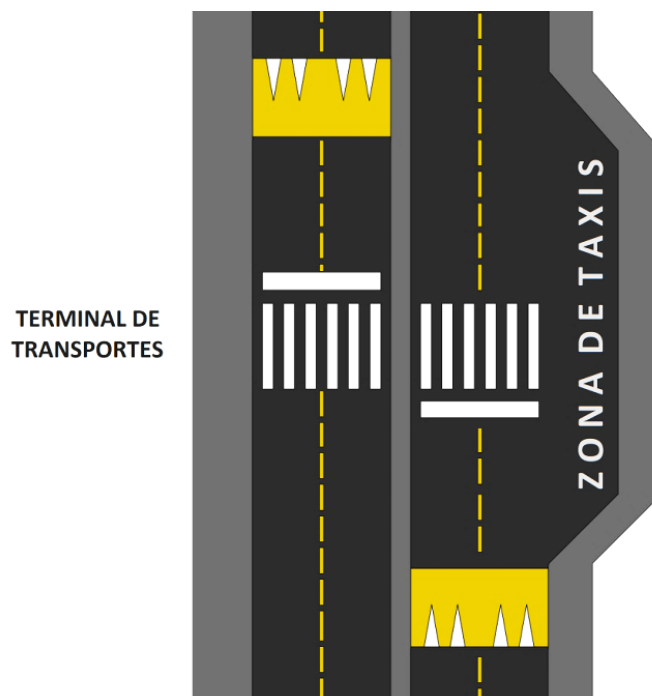


Figura 21. Esquema de la señalización horizontal propuesta.

3.4 Elaboración de una guía para la implementación de reductores de velocidad

Con base en la información recopilada durante la etapa de revisión sistemática y luego de hacer uso de la misma para la recomendación de instalación de un reductor de velocidad en el caso de estudio ubicado en el terminal de transportes de Bucaramanga, se diseñó la “Guía para la implementación de reductores de velocidad” presentada en el Apéndice B.

4 Conclusiones

De la revisión de la legislación vigente en distintos países como Colombia, España, Ecuador, México y Perú, y junto con las investigaciones encontradas a lo largo del tiempo se evidenció la importancia de establecer la selección correcta de los reductores de velocidad para garantizar la seguridad de los peatones y de esta manera reducir los índices de accidentalidad sin llegar a afectar sustancialmente a los vehículos y sus ocupantes.

La guía propuesta logró juntar los reductores de velocidad más usados y presentar las dimensiones recomendadas con base en las investigaciones de distintos autores.

Se realizaron los estudios pertinentes para la correcta caracterización de la zona de análisis, y haciendo uso de las medidas existentes para la pacificación del tránsito se recomendó la instalación de un reductor de velocidad de geometría circular que se acopla a las características de la zona, permitiendo el cruce seguro de peatones sin generar efectos nocivos para los conductores que transitan dicha zona.

5 Recomendaciones

Con el objeto de complementar una buena funcionalidad del resalto, se recomienda que las demarcaciones horizontales sobre el pavimento cumplan con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC 4744).

De la revisión de la normativa vigente en Colombia, España, Ecuador, México y Perú, se evidenció una diferencia significativa en la restricción de instalación de reductores de velocidad entre la normativa colombiana y las otras normas en mención. La norma colombiana hace referencia a no permitir el uso de reductores de velocidad en vías urbanas con volumen vehicular diario superior a 500 vehículos (500 veh/día), mientras que en otros países se restringe para vías con un volumen vehicular horario superior a 500 vehículos (500 veh/h). Se recomienda la verificación de esta información.

Referencias Bibliográficas

- Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., & Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience. *Safety Science*, 57, 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.03.008>
- Bernal Carretero. (n.d.). *Comportamiento de sistemas reductores de velocidad para la regulación del tráfico*.
- Dirección de Tránsito de Bucaramanga. (2018). *Accidentalidad Enero-Diciembre 2018 en Bucaramanga* (Vol. 32). Bucaramanga.
- Gedik, A., Bilgin, E., Lav, A. H., & Artan, R. (2019). An investigation into the effect of parabolic speed hump profiles on ride comfort and driving safety under variable vehicle speeds: A campus experience. *Sustainable Cities and Society*, 45, 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.040>
- González Garrido, M. (1999). Estudio De Velocidades.
- Jaime, F. (2015). Anillo Vial De Cartagena.
- Khorshid, E., AlAli, F., & Alfares, M. (2018). Performance analysis of speed control humps and dips based on health and comfort criteria. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 13(3/4), 295. <https://doi.org/10.1504/ijvnv.2017.089528>
- Khorshid, E., & Alfares, M. (2004). A numerical study on the optimal geometric design of speed control humps. *Engineering Optimization*, 36(1), 77–100. <https://doi.org/10.1080/03052150310001634871>
- Khorshid, E., & Alfares, M. (2006). Model refinement and experimental evaluation for optimal

- design of speed humps. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 2(1), 80. <https://doi.org/10.1504/ijvsmt.2007.011427>
- Kordani, A. A., Molan, A. M., Monajjem, S., & Sadeghvaziri, E. (2014). Simulation Modeling of Dynamic Response of Vehicles to Different Types of Speed Control Humps (pp. 533–542). American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784413586.051>
- Ministerio de Fomento Gobierno de España. (2008). Instrucción técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la Red de Carreteras del Estado, 20. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio de Transporte. (2004). Otros Dispositivos Para La Regulación Del Transito, 213. Retrieved from <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=4286>
- Ministerio de Transporte. (2015). Manual De Señalización Vial Dispositivos Uniformes Para La Regulación De Tránsito En Calles, Carretras Y Ciclorrutas De Colombia, 44(8), 085201. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones República del Perú. (n.d.). Reductores de Velocidad Tipo Resalto para el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).
- Molan, A. M., & Kordani, A. A. (2014). Optimization of Speed Hump Profiles Based on Vehicle Dynamic Performance Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 140(8), 04014035. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000686](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000686)
- Por, A., & Directoral, R. (n.d.). “Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú” “Año del Centenario de Machu Picchu para el mundo” REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO RESALTO PARA EL SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS (SINAC).
- Prieto, G. T. (n.d.). Enero a diciembre del Año 2018 Fuente: Grupo Control Vial y Sistema Misional.

PROYECTO DE REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO CONSIDERANDO. (n.d.).

Towards a North American Geometric Design Standard for Speed Humps. (2000).

Yuan, L., & Han, M. (2012). Study of Geometric Design of Rubber Speed Control-Hump (pp. 2230–2236). American Society of Civil Engineers (ASCE).
<https://doi.org/10.1061/9780784412442.226>