

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

1. Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales.	14
1.1. Desarrollo y seguimiento de un proceso de consulta pública formal.	14
1.1.1. Desarrollo del proceso	14
1.1.2. Evaluación de las solicitudes.	19
1.2. Determinar las necesidades de la vía, realizando un análisis del área afe- rente o de impacto.	20
1.2.1. Audiencia Pública	21
1.3. Etapa de diseño.	22
1.3.1. Estudio de tránsito.	22
1.3.2. Diseño geométrico	28
1.3.3. Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical. . . .	35
1.3.4. Revisión paisajista del sector.	36
1.3.5. Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroplaneo o el efecto dique del dispositivo.	36
1.3.6. Diseño de pavimentos.	40
2. Formularios para implementar la guía	53
3. Ejemplos prácticos en Popayán.	59
3.1. Sector rural vereda Pisojé	59
3.1.1. Proceso de solicitud del dispositivo por parte de la comunidad	59
3.1.2. Desarrollo de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales	63
3.2. Sector urbano La Aldea	78
3.2.1. Proceso de solicitud del dispositivo por parte de la comunidad	78
3.2.2. Desarrollo de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales	82
Referencias Bibliográficas	93

LISTA DE TABLAS

	Pág
1. Ejemplo cálculo velocidad percentil 85	15
2. Velocidad de Diseño	18
3. Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2	24
4. Ejemplo PV^2	24
5. Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2	25
6. Velocidad de Diseño	29
7. A Policy on Geometric Design of Highways and Strets. Washington D.C. 2018.	30
8. A Policy on Geometric Design of Highways and Strets. Washington D.C. 2018.	30
9. Encuesta a residente sobre reductores de velocidad Seminole y Watts	34
10. Fricción longitudinal	41
11. A Policy on Geometric Design of Highways and Strets. Washington D.C. 2018.	42
12. Aplicación fórmula de Brown(1.974)	44
13. Desviación Normal Estándar Z_R	49
14. Error normal combinado para pavimentos flexibles S_o	49
16. Servicialidad Final P_t	49
15. Servicialidad Inicial P_0	50
17. Calidad del drenaje.	50
18. Valores de m, recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares.	50
19. Formulario A5: Chequeo del Diseño de Pavimentos	57
20. Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad	58
21. Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad	63
22. Datos de tránsito octubre 20 de 2023	63
23. Datos de tránsito octubre 21 de 2023	64
24. Datos de tránsito octubre 22 de 2023	64
25. Datos de tránsito octubre 22 de 2023	64
26. Ejemplo Pisojé PV^2	65
27. Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2	66
28. Desviación Normal Estándar Z_R . Pisojé	74
29. Error normal combinado para pavimentos flexibles S_o . Pisojé	75
30. Servicialidad Inicial P_0 . Pisojé	75
31. Servicialidad Final P_t . Pisojé.	75
32. Calidad del drenaje.	75
33. Valores de m, recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares. Pisojé	76
34. Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad	82
35. Datos de tránsito octubre 6 de 2023	82
36. Datos de tránsito octubre 7 de 2023	83
37. Datos de tránsito octubre 8 de 2023	83

38.	Datos de tránsito octubre 9 de 2023	83
39.	Ejemplo Pisoje PV^2	84
40.	Determinación del Dispositivo Peatonal según el valor de PV^2	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág
1. Cálculo del V85	16
2. Categoría de carreteras	18
3. Categoría de carreteras	29
4. Resalto trapezoidal o pompeyano	31
5. Resalto parabólico o circular	31
6. Resalto portátil	32
7. Resalto tipo cojín	32
8. Diferentes Perfiles RV	33
9. Reductores típicos.	33
10. Modelo Señalización Colombia	35
11. Coeficiente de fricción longitudinal	41
12. Nomograma de Van der Poel	45
13. Nomograma Smix	45
14. Nomograma de Van der Poel	47
15. Nomograma Smix	48
16. Plano constructivo en perfil del pavimento	51
17. Formulario A1: Solicitud de implementación de un reductor	53
18. Formulario A2: Evaluación de la solicitud	54
19. Formulario A3: Verificación de la elegibilidad	55
20. Formulario A4: Área aferente del proyecto	56
21. Formulario A1: Solicitud vereda Pisojé	59
22. Formulario A2: Evaluación de la solicitud Pisojé	60
23. Formulario A3: Elegibilidad vereda Pisojé	61
24. Formulario A4: Área aferente Pisojé	62
25. Topografía vereda Pisojé	67
26. Diseño Geométrico Plancha 1	68
27. Diseño Geométrico Plancha 2	68
28. Diseño geométrico dispositivo circular	69
29. Diseño geométrico dispositivo parabólico	69
30. Modelo Señalización Adoptado	70
31. Nomograma de Van der Poel. Pisojé	72
32. Nomograma Smix. Pisojé	73
33. Plano constructivo reductor de velocidad circular en perfil del pavimento. Pisojé	77
34. Plano constructivo reductor de velocidad parabólico en perfil del pavimento. Pisojé	77
35. Solicitud barrio La Aldea	78
36. Elegibilidad barrio La Aldea	79
37. Elegibilidad bario La Aldea	80
38. Area aferente La Aldea	81
39. Topografía barrio La Aldea	86
40. Diseño Geométrico Plancha 1 barrio La Aldea	87
41. Diseño Geométrico Plancha 2 barrio La Aldea	87

42.	Diseño geométrico dispositivo circular	88
43.	Modelo Señalización Adoptado	88
44.	Plano constructivo reductor de velocidad circular en perfil del pavimento. Pisojé	92
45.	Diseño de Pavimentos	92

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.

- Ciclovía: 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 Ciclovías, 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)

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

La presente guía contiene la metodología propuesta:

- Desarrollar un proceso de consulta pública.
En esta etapa se podrá apreciar la metodología de recolección de información en conjunto con la comunidad, la diligenciación de la solicitud, definición del área afere y evaluación de la solicitud por parte del funcionario delegado de la entidad encargada de la vía, el concepto de elegibilidad del grupo interdisciplinario que aprobará o negará proseguir con la etapa de estudios y diseños del reductor de velocidad, como propuesta de pacificación del tránsito.
- Desarrollo de la etapa de diseño.
En esta etapa se encuentran los estudios mínimos necesarios para realizar la implementación de un reductor de velocidad:
 - Estudio de tránsito.
 - Diseño geométrico.
 - Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical.
 - Revisión paisajística del sector.
 - Diseño hidráulico del entorno con una propuesta de las estructuras necesarias para evitar hidroneo o el efecto del dispositivo.
 - Diseño de pavimentos.
- Se encuentran algunos ejemplos de la aplicación de la etapa de diseños, con el fin de facilitar el entendimiento de la metodología.
- Se encuentran dos ejemplos prácticos uno de una vía rural y el otro de una vía urbana.

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

Para ello se empleará el formulario que se muestra en la Figura17, en donde recopila la información básica según el punto de vista de la comunidad.

1.1.1. Desarrollo del proceso

1. Solicitudes de la comunidad para implementar reductores de velocidad o la identificación de la necesidad por parte de un grupo técnico de la entidad estatal.
 - Diligenciar el formulario de la petición (Ver Figura 17), el cual se debe encontrar en internet o encontrarse en un lugar que permita diligenciar con facilidad, debe contener un resumen de la problemática, solicitud de la implementación

del reductor de velocidad y contar con las firmas de la comunidad y debe ser radicado a la autoridad de tránsito de la ciudad correspondiente.

- El formulario de solicitud, debe llegar al área encargada y deberá continuar con el trámite de solicitud, de tal forma que la entidad encargada de la movilidad determine la necesidad quien debe dar trámite al formulario de evaluación (Ver Figura 18) y según el caso se continúe con el proceso de diseño si se considera aceptada la solicitud y cuenta con la elegibilidad. (Ver formulario de la Figura 19).
- La entidad receptora debe determinar la velocidad del percentil 85, el límite de velocidad de la calle y el tráfico promedio diario, además el porcentaje de la comunidad afectada.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de la velocidad del percentil 85:

Tabla 1: Ejemplo cálculo velocidad percentil 85

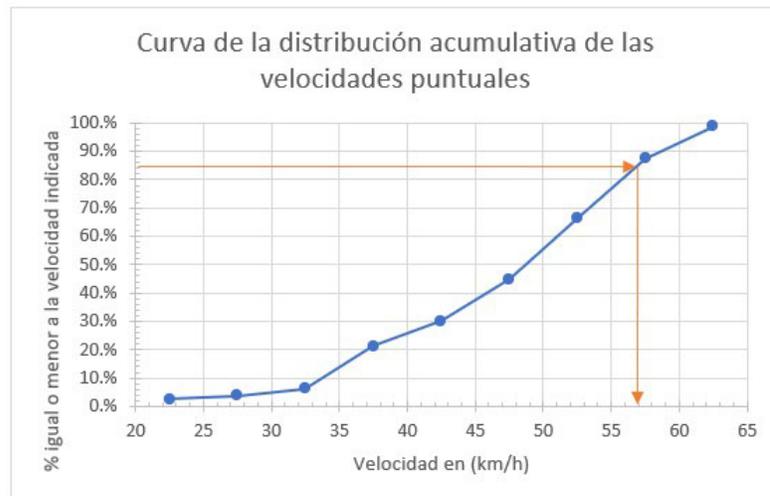
Clases Velocidades (km/h)			Punto medio (km/h)	Observaciones	Observaciones %	Observaciones Acumuladas %
20	-	25	22.5	2	2.50 %	2.50 %
25	-	30	27.5	1	1.25 %	3.75 %
30	-	35	32.5	2	2.50 %	6.25 %
35	-	40	37.5	12	15.00 %	21.25 %
40	-	45	42.5	7	8.75 %	30.00 %
45	-	50	47.5	12	15.00 %	45.00 %
50	-	55	52.5	17	21.25 %	66.25 %
55	-	60	57.5	17	21.25 %	87.50 %
60	-	65	62.5	9	11.25 %	98.75 %
65	-	70	67.5	1	1.25 %	100.00 %
TOTAL				80	100 %	

Fuente: Propia. Basado en Principios de ingeniería de tránsito. Radelat.

La metodología de cálculo se basa en los datos de la Tabla 1, donde se ordenan las clases de velocidades de menor a mayor, la primera es (20 - 25) y la última es (65 - 70), se cuenta con los datos de observaciones de cada punto, con respecto al total se calcula el % de cada clase y la sumatoria debe dar 100 % como el ejemplo, luego se llega a las observaciones acumuladas.

Graficar: Punto medio (km/h) y Observaciones acumuladas % las cuales se presentan en la Figura 1.

Figura 1: Cálculo del V85



Fuente: Propia. Basado en Principios de ingeniería de tránsito. Radelat.

Al evaluar la información obtenida en campo que se presenta en la Tabla 1, encontramos lo siguiente:

$$\text{Velocidad promedio} = 49,4\text{km/h y la } V_{85} = 57\text{km/h}$$

En este caso podemos observar que la velocidad percentil 85 (V_{85}) es mucho más representativa que la velocidad promedio.

- Determinar el área aferente de la vía priorizada por la comunidad o el funcionario público. Se busca contar con un bosquejo o una idea que se tiene de la percepción de la comunidad de cual sería el área que se afecta.

Recordemos que nos encontramos en la etapa de solicitud y la información recolectada de la comunidad nos dará la ruta de entendimiento de cual es la problemática real y el área aferente es algo que se percibe al circular a diario en los diferentes medios de transporte al sitio de estudio, por ello la comunidad, transportadores, entre otros, nos pueden suministrar información importante para delimitar el área.

2. Hay que tener en cuenta el Manual de señalización INVIAS 2015, en donde 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 %. (Manual Señalización INVIAS, 2015)

Otras limitaciones son:

- Vías con características de de desvío o enlace a vías principales.
- Tramos de vía con longitud inferior de 200 metros. En el caso de estudiar una calle debe evaluarse las dos calles contiguas al lugar del conflicto, ya que la prioridad del sentido de circulación debe llevarla al menos en esas tres calles.
- Si la velocidad percentil 85 (V_{85}) supere los 60 km/h.
- En un puente o túnel, o a 25 metros anteriores o posteriores.
- Vías con más de dos carriles de circulación en el mismo sentido.
- Tráfico horario pico superior a 300 vehículos, en el carril de estudio.
- En proximidad a intersecciones no se debe colocar un resalto circular o parabólico, en este caso se debe construir un reducto de velocidad tipo trapezoidal, siempre y cuando existe conflicto con peatones. (Baez y Montañez, 2010)

Por lo tanto, si la vía se encuentra dentro de estas limitaciones el reductor no es la solución que requiere la calle o carretera en estudio.

3. Evaluación de la solicitud por parte del grupo de emergencia, este grupo debe estar conformado por delegado(s) de:
 - Atención de desastres (Alcaldía).
 - Secretaría de salud (Alcaldía).
 - Secretaría de Tránsito (Alcaldía).
 - Policía (urbano) y Policía de carreteras (rural).
 - Bomberos.
 - Defensa civil.
 - Cruz roja

Con este grupo se debe evaluar las rutas de los vehículos de atención a emergencias y que la construcción del dispositivo no genere demoras considerables.

En esta fase se debe contar con un grupo interdisciplinario, en donde forma parte activa las entidades que controlan las emergencias en la población o ciudad que se localiza el reductor de velocidad.

Se debe contar con las rutas que normalmente emplean para llegar a los sitios de emergencia, con el fin de determinar el tiempo con el que normalmente se calcula para atender el incidente, ya sea emergencia clínica, accidentalidad o siniestralidad, emergencia o catástrofe.

Debe contener todas las recomendaciones necesarias para ser tenidas en cuenta en la evaluación de la solicitud.

Con el fin de dar claridad para carreteras, existe este grupo de emergencia y normalmente es liderado por la concesión de la vía si es el caso o por la unidad gubernamental encargada (Nación, Gobernación o Alcaldía).

4. Se debe conocer la jerarquía de la vía, parámetro que nos indica cual es la velocidad de diseño de la cual debe partir el diseñador y se espera que el tránsito asuma con responsabilidad:

- Para las calles o vías urbanas se presenta la Tabla 2, de donde se puede encontrar el tipo de calle en la cual nos encontramos trabajando:

Tabla 2: 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: Propia. Basado en Vías Urbanas una ciudad para todos. Germán Arboleda Vélez

El tipo de vía debe consultarse en el POT o EOT de la municipalidad, la cual se puede consultar en la página de la Alcaldía de la ciudad o acudir a la Secretaría de Planeación, quien puede dar esa información.

- Para las carreteras se toma la Figura 2, de donde se puede encontrar la categoría de la carretera y la velocidad de diseño:

Figura 2: 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

Ejemplo de jerarquización:

- Nos encontramos en una vía residencial.

La categoría es una vía local y su velocidad se encuentra entre 30 km/h - 50 km/h (Según la Tabla 2, por norma las vías residenciales no pueden pasar de 30 km/h, para este caso la categoría es residencial y su velocidad es 30 km/h. Se recomienda revisar la velocidad de operación.

- En una carretera cerca a un corregimiento se encuentra una escuela por la cual pasa una vía.

Al realizar la consulta encontramos que es una vía nacional perteneciente al INVIAS, es primaria de una calzada y la velocidad esperada es de 60 km/h a 90 km/h. Es una zona escolar y se espera una velocidad de 30 km/h. Se recomienda revisar la velocidad de operación.

1.1.2. Evaluación de las solicitudes.

En esta etapa se debe tener en cuenta la prioridad de la solicitud, se cuenta con el formulario detallado en la Figura 18. Se desarrollarán los siguientes pasos:

1. Información básica que se debe recolectar en el formulario de solicitud:

- Velocidad de la calle.
- Volúmenes de tráfico.
- Colisiones relacionadas con la 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.

Los objetivos planteados, pueden ser seleccionados uno, o dos o los tres, de igual forma también se pueden plantear otro tipos de objetivos que la comunidad o el grupo técnico los consideren importantes.

3. 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.

Hay que tener en cuenta que la revisión debe ser técnica, ya que nos encontramos en el proceso de elegibilidad y estamos recomendando proceder con la siguiente etapa que ya es el diseño, una vez se logre la concertación con la comunidad.

1.2. Determinar las necesidades de la vía, realizando un análisis del área aferente o de impacto.

Los reductores de velocidad se emplean en casos específicos donde la reducción de velocidad es una prioridad, la finalidad es contribuir en la solución de un problema puntual de seguridad vial, por lo tanto:

- Debe plantearse dentro de un proyecto de ingeniería de tránsito.
- Generalmente de una calle o una carretera, aunque el análisis debe llevarse al área aferente.
- Debe contar con un detalle de información que permita plantear una solución provisional o definitiva.

La solución debe evaluarse con el fin de tomar decisiones posteriores, por ejemplo si es provisional evaluar si se convierte en definitiva o por el contrario volver a la normalidad de la calle inicial, ya cumpliendo las expectativas de la decisión. (Ewing, 1999).

- Calles o vías urbanas. Para el caso de las vías urbanas que tienen inconvenientes por aumento de tráfico y velocidad por motivo de desvío de los vehículos hacia la zona residencial, el área aferente corresponde desde el lugar de desvío hasta la última calle en conflicto.

Si la densidad y velocidad vehicular aumentan en una zona y corresponden a centros comerciales, centros deportivos, centros educativos, centros religiosos, etc, se debe encontrar la zona en la cual los vehículos se movilizan, con el fin de medir el impacto.

En caso de que el conflicto sólo sea en una calle o un pequeño sector, sin identificar que sea un desvío el área aferente sólo será la calle en estudio.

- Carreteras o vías rurales. El área aferente corresponde al sector donde se presenta la problemática en una longitud de 100 metros hacia arriba y 100 metros hacia abajo de la ubicación del reductor de velocidad, aunque es probable que la vía rural sirva de desvío para zonas urbanas cercanas, en este caso se hace necesario un estudio igual que el de una calle, se debe encontrar toda la zona que ocasiona el desvío de vehículos de la forma descrita en el numeral anterior.

La experiencia en varias ciudades del mundo muestra que el tratamiento localizado es menos efectivo que el tratamiento en toda el área aferente del proyecto. Por lo tanto, levantar la información primaria es fundamental en el proceso.

Conociendo el área aferente, se realizará un censo de edificaciones, que permitirá conocer el impacto del conflicto descrito por la comunidad o el funcionario público que envía la solicitud de implementación del reductor de velocidad.

Para este proceso contamos con el formulario del área aferente que se presenta en la Figura 20, también puede ser un plano que detalle el sector, en este caso en el formulario se debe consignar que se anexa el plano.

1.2.1. Audiencia Pública

Se debe contar con la comunidad, ya que un proceso sin tener en cuenta su participación puede conllevar a que no permitan la implementación de la estrategia planteada, por lo tanto, la socialización es la clave para el inicio de los estudios y el avance en el planteamiento de cada uno de los dispositivos planteados. (AASHTO, 2018)

Con la información obtenida en los procesos anteriores se realizará una audiencia pública de todos los estamentos implicados como son:

- Comunidad (Censo de residentes y dueños de negocios).
- Servicios de emergencia (policía, bomberos, ambulancias, defensa civil, etc)
- Otros grupos (escuelas, universidades, hospitales, centros médicos, operadores de tránsito, construcción y/o mantenimiento de vías, empresas de servicios públicos.

Para una calle la reunión deber ser liderada por la Secretaría de Tránsito o de Movilidad y preferiblemente La Secretaría de Gobierno, quien con los argumentos de la comunidad, la información recolectada y el soporte técnico, realice la sustentación de la necesidad de estudiar el reductor de velocidad y que la comunidad se encuentra interesada de participar en dicho proceso; en la socialización deben darse a conocer las ventajas y desventajas, que sean objetivas y que se puedan medir durante el proceso de evaluación y la futura implementación del proyecto.

En el caso de una carretera se debe reunir a la comunidad, el grupo de emergencia, delegados del Municipio a quien le pertenece el tramo en conflicto, la Gobernación y el representante de la nación, ya sea de la concesión o el INVIAS, el liderazgo de la reunión debe ser de la entidad encargada de administrar la carretera.

Para la comunidad debe quedar claro que 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.

Al final se debe realizar una encuesta del cual debe quedar evidencia en el formulario de la Figura 19, en el cual se debe contar con al menos un 55% de acuerdo con la

implementación del reductor de velocidad, además debe quedar el acta de reunión en donde se describa la forma de votación, los resultados y la firma de asistencia.

1.3. Etapa de diseño.

En esta etapa se plantea realizar el siguiente orden con el fin de plantear el estado del arte del diseño:

1.3.1. Estudio de tránsito.

Un punto muy importante para definir en este tipo de proyectos, es el número de días que se recomiendan para realizar un estudio de tránsito, y depende mucho del alcance que se espera, dentro del diseño geométrico es importante entender el comportamiento del tránsito al circular por la vía en estudio.

En el caso de estudios puntuales, como son intersecciones o cruces, normalmente se recomienda dos días y el tipo de análisis es similar al de los dispositivos, generalmente se desarrolla un día de semana y un sábado.

En estudios de gran escala como son el diseño de vías y la planificación urbana, encaminada a resolver inconvenientes de movilidad, se hace necesario realizar un estudio que permita llegar a un modelo más preciso y normalmente se recomiendan varios días, incluso semanas.

En el caso de estudios de tránsito para diseño se recomienda una semana, con el fin de caracterizar el comportamiento del tráfico en la vía y lograr determinar el o los días críticos.

Para casos de zonas aferentes de varios barrios o varias calles, se debe realizar conteos en al menos dos semanas, para detectar cambios en determinados días y que no sea un desvío ocasional.

Para los casos que representan dos o tres calles (urbano) o un tramo de carretera (rural) que incluyen zonas de intersección que alimentan el tránsito, donde hay conflicto entre vehículos, ciclistas y peatones, se recomienda realizar los conteos al menos durante 7 días, de esta forma se logra identificar el día más crítico y las horas más críticas. y para casos puntuales como es una calle o tramo de carretera de 300 metros, se debe realizar conteos durante dos días (uno en semana y un sábado).

El análisis del tránsito horario pico se debe realizar por carril, el cual nos ayuda a entender el comportamiento de los vehículos en la distribución por los carriles y nos permitiría detectar problemas de capacidad vial, para tomar la decisión de proponer otro tipo de soluciones, si es el caso.

- **Estudio de volúmenes y composición vehicular.**

Realizar conteos con el fin de contar con el TPD de la vía y lograr definir si cumple con la categoría dentro del POT y de esta forma evaluar si se cuenta con una vía de desvío en horas pico por ejemplo.

Con esta información se debe caracterizar el tráfico y determinar el vehículo tipo, además, se debe determinar si existe circulación de buses o camiones que determinan el tipo de reductor de velocidad que se implementará.

Se debe tener claro que cuando el tráfico de vehículos pesados supera el 5% se debe descartar la implementación del reductor de velocidad, por lo tanto, se debe plantear otra solución para pacificar el tránsito. (Manual Señalización INVIAS, 2015)

- Conflicto de tráfico multimodal

Realizar conteo de bicicletas, patinetas y motocicletas, con el fin de evaluar conflictos entre los diferentes tipos de vehículos que participan en la vía. En caso de contar con zonas de conflicto se hace necesario incrementar las campañas de seguridad vial con la comunidad del sector, evaluar si cuenta con la señalización recomendada por el Manual de señalización del INVIAS vigente, determinar si es suficiente y si hay claridad.

Cuando existe ciclovía, debe existir claridad de cual es el espacio de los peatones y el de las bicicletas, preferiblemente debe existir espacios diferentes (no compartidos) con el fin de evitar conflicto y prevenir accidentalidad o siniestralidad. En las ciclovías no deben circular vehículos motorizados, por lo tanto, se deben diseñar cruces que garanticen la protección de peatones y ciclistas.

- Estudio de volúmenes peatonales.

Debemos conocer el comportamiento de los peatones en la zona, determinar zonas especiales, centros comerciales, colegios, etc y se obtienen conteos por hora.

El análisis debe ir direccionado a encontrar si hay conflicto peatón - vehículo, para ellos se empleará la metodología PV^2 que se encuentra en el Manual de señalización INVIAS 2015, numeral 6.1.3.1. Conflicto vehículos - peatones, de esta forma se plantea no sólo la reducción de la velocidad, sino algunas estructuras de protección del peatón, donde el reductor de velocidad será la obra complementaria y las estructuras para los peatones será la obra principal.

Esta metodología se adaptará como parámetro de análisis de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales, con el fin de encontrar el conflicto entre peatones y actores viales.

Se propone emplear el indicador PV^2 (Manual Señalización INVIAS, 2015), donde:

$$P = \text{Peatones/hora}$$

$$V = \text{Vehiculos/hora}$$

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.

Con los parámetros $P = \frac{\sum p_i}{4}$ y $V = \frac{\sum v_i}{4}$ aplicamos PV^2

Cuando encontramos PV^2 (Manual Señalización INVIAS, 2015), tomando como referencia la Tabla 3, encontramos que hay conflicto y que se hace necesario encontrar una medida, que para este caso argumenta la conveniencia de la implementación del reductor de velocidad.

Tabla 3: 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.

A continuación, se presenta el desarrollo de un ejemplo:

La Tabla 4 es el resultado de la actividad de tomar una muestra representativa durante 7 días consecutivos y evaluar el día más crítico, de ello se cuenta con el siguiente flujo de peatones y de vehículos por hora:

Tabla 4: Ejemplo PV^2

Horario	Peatones (p)	Vehículos (v)	PV^2	Valores más significativos
07:00 - 08:00	45	600	0.162×10^8	
08:00 - 09:00	110	1.200	1.584×10^8	X
11:00 - 12:00	90	850	0.650×10^8	
17:00 - 18:00	105	1.300	1.775×10^8	X
18:00 - 19:00	120	1.500	2.700×10^8	X
19:00 - 20:00	85	1.100	1.029×10^8	X

Fuente: Propia

Como se puede apreciar se toman los cuatro (4) valores más significativos, de los seis (6) valores más representativos de los flujos evaluados de la vía correspondiente.

A continuación se determina el valor PV^2 :

$$P = \frac{\sum p_i}{4} = \frac{110 + 105 + 120 + 85}{4} = \frac{420}{4} = 105$$

$$P = 105$$

$$V = \frac{\sum v_i}{4} = \frac{1,200 + 1,300 + 1,500 + 1,100}{4} = \frac{5,100}{4} = 1,275$$

$$V = 1,275$$

$$PV^2 = 105 \times 1,275^2 = 1,707 \times 10^8$$

$$PV^2 = 1,707 \times 10^8$$

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

Tabla 5: 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

* 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.

En este ejemplo se puede concluir que se necesita un semáforo peatonal con botonera.

Encontramos conflicto, se hace plantea la respectiva solución, ya sea con un paso peatonal controlado por semáforos, pasos peatonales tipo cebra o un paso con un

reductor trapezoidal, para el caso de la guía encontrar el conflicto es un análisis que evidencia la necesidad del reductor de velocidad, por lo tanto, la conclusión será que se recomienda el dispositivo.

■ Estudio de velocidades.

Este parámetro nace del proceso de jerarquización de la vía, para una calle se debe referir al POT o la Tabla 6 y para una carretera la velocidad de diseño (ver Figura 2), de aquí nace la necesidad de determinar cual es la velocidad de operación de la vía.

El método manual más utilizado para el registro de velocidades de punto es el del cronómetro, en el cual sobre una distancia determinada (25 a 80 metros), se trazan dos líneas con pintura y localizando una persona en cada línea, quienes por medio de comunicación se activan los cronómetros y se calcula la velocidad mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}}$$

Radars de Velocidad: Los radares de velocidad utilizan ondas de radio para medir la velocidad de un vehículo. Pueden ser fijos o móviles y se colocan a lo largo de la carretera. Cuando las ondas de radio rebotan en un vehículo, se calcula la velocidad en función del cambio en la frecuencia de las ondas.

Dispositivos para medir la velocidad:

- **Láseres de Velocidad:** Estos dispositivos utilizan un haz de luz láser para medir la velocidad de un vehículo. Funcionan de manera similar a los radares, midiendo el tiempo que tarda la luz en viajar hacia el vehículo y regresar.
- **Cámaras de Tráfico:** Algunas cámaras de tráfico tienen la capacidad de medir la velocidad de los vehículos. Estas cámaras pueden estar ubicadas en lugares estratégicos y capturan imágenes de los vehículos a medida que pasan. El software puede analizar la distancia recorrida entre las imágenes para calcular la velocidad.
- **Inductores Magnéticos:** Algunas intersecciones o tramos de carretera utilizan inductores magnéticos en el pavimento. Estos dispositivos detectan la presencia de un vehículo y, al calcular el tiempo que lleva pasar de un inductor a otro, se puede determinar la velocidad.
- **GPS:** Los sistemas de posicionamiento global (GPS) pueden utilizarse para rastrear la velocidad de un vehículo. Los dispositivos GPS registran la ubicación del vehículo en intervalos de tiempo y, a partir de esos datos, se puede calcular la velocidad.
- **Sondas de Tráfico y Sensores:** En entornos más avanzados, se pueden utilizar sistemas de gestión de tráfico que recopilen datos de sondas de tráfico y sensores instalados en la carretera para medir la velocidad de los vehículos.

Este análisis va encaminado a descubrir si la velocidad de operación (percentil 85), es superior al tipo de vía o la velocidad esperada para el tramo en estudio.

Ejemplos:

- Si nos encontramos en una vía es residencial y la velocidad permitida es de 30 km/h, al realizar el cálculo de V_{85} encontramos que es 40 km/h, en este caso se recomendaría construir un reductor de velocidad, teniendo en cuenta este parámetro (hay que terminar todos lo análisis para poder concluir).
 - Si nos encontramos en una carretera que es secundaria en un terreno montañosa y en la zona se encuentran varios restaurantes y un hotel, la comunidad solicita un reductor de velocidad. En este caso la velocidad de diseño se encuentra entre 40 km/h - 70 km/h, al realizar el cálculo de V_{85} encontramos que es 50 km/h, para evitar conflictos en la zona se espera reducir la velocidad a 30km/h, por lo tanto, dado que el análisis demuestra que se debe reducir la velocidad el concepto es recomendar implementar el reductor de velocidad.
- Análisis de siniestralidad.

La información secundaria es posible obtenerla en el observatorio de seguridad vial de cada municipio (si existe), debe referirse al número de incidentes que ocurren en la vía en estudio, pueden incluir choque entre vehículos y motocicletas, atropello a peatones, patinetas y ciclistas, entre otros, el análisis debe realizarse entendiendo los riesgos que existen para buscar las medidas, el estudio debe enfocarse en disminuir la velocidad y garantizar que los actores viales cuenten con seguridad vial.

Deben incluirse los siguientes procesos:

- Recopilación de Datos: Se recopilan datos sobre todos los incidentes ocurridos en la calle. Estos datos incluyen la fecha y hora de los incidentes, la ubicación exacta, la causa probable y la gravedad de las lesiones.
- Análisis de Incidentes: Se realiza un análisis detallado de cada incidente para identificar patrones y factores contribuyentes. Esto puede incluir el exceso de velocidad, la falta de señalización, la visibilidad limitada, condiciones climáticas adversas, etc.
- Mapa de Siniestralidad: Se crea un mapa que muestra la ubicación de cada incidente. Esto ayuda a visualizar las áreas de la calle que son más propensas a accidentes.
- Evaluación de Factores de Riesgo: Se identifican y evalúan los factores de riesgo presentes en la calle. Esto puede incluir intersecciones peligrosas, falta de pasos peatonales, ausencia de señales de tráfico claras, etc.
- Ya contamos con un análisis de la velocidad, análisis de conflicto vehículos - peatones y como información adicional contamos con la consulta a la comunidad, quienes nos dan su punto de vista.

Implementación de Medidas de Seguridad: Basándose en los hallazgos del análisis, se proponen e implementan medidas para mejorar la seguridad vial. Esto puede incluir cambios en la infraestructura vial, señalización adicional, reducción de límites

de velocidad y en dado este análisis podemos recomendar el reductor de velocidad, cuando los factores contribuyentes así lo indiquen.

Este proceso de análisis y mejora continua es fundamental para reducir la siniestralidad en una calle y mejorar la seguridad para todos los usuarios de la vía. La colaboración entre autoridades locales, ingenieros de tráfico, y la comunidad es esencial en este esfuerzo.

- Definir si la calle o la carretera es una ruta de emergencia.

Cuando se realice la socialización es importante contar con el análisis por parte del comité de emergencia quien determine cual es el tiempo de reacción de ellos con respecto a la construcción del dispositivo, en caso de la vía es una ruta de emergencias, es necesario estudiar el tiempo de reacción de los vehículos, en este caso la solución se debe evaluar de forma temporal, antes de implementar de forma definitiva el dispositivo.

1.3.2. Diseño geométrico

Como fase preliminar de esta etapa debemos contar con una topografía detallada de la vía en estudio, donde se aprecie las condiciones del terreno existente y su perfil.

El diseño geométrico debe contener dos componentes:

1.3.2.1. 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, por lo tanto es necesario el diseño geométrico, teniendo en cuenta los cambios planteados en la vía.

Es importante 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, por lo tanto, se debe presentar el diseño geométrico del tramo.

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.

en le caso de requerir diseño geométrico se debe tener en cuenta la siguiente metodología:

Para encontrar la velocidad de diseño de la calle en conflicto se debe remitir a la Tabla 6:

Tabla 6: 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)

El tipo de vía debe consultarse en el POT o EOT de la municipalidad, la cual se puede consultar en la página de la Alcaldía de la ciudad o acudir a la Secretaría de Planeación, quien puede dar esa información.

Para las carreteras se toma la Figura 3, de donde se puede encontrar la categoría de la carretera y la velocidad de diseño:

Figura 3: 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

En las Tablas 7 y 8, resalta la distancia que se debe tomar como referente para iniciar a alertar al conductor de la existencia de una zona con presencia de un reductor de velocidad, el Invias recomienda instalarlo entre 40 a 60 metros antes de encontrar el dispositivo.

Tabla 7: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 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: (AASHTO, 2018)

Como nueva propuesta se plantea tener en cuenta la Tabla 8, en donde se plantean distancias de visual de decisión, según el área si es rural o es urbana. Además, se aprecia que en el área rural en velocidades menores de 60 km/h, se requiere una distancia de 195 metros donde se debe alertar al conductor, dada toda la contaminación visual.

Tabla 8: 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: (AASHTO, 2018)

Estos parámetros permiten definir la longitud mínima necesaria de estudio de la vía en donde se implementarán reductores de velocidad, para ellos se deben evaluar los parámetros como son: el tipo de vía y la velocidad de operación ya que ello define cual es la longitud del tramo necesario para desarrollar el proyecto, por ejemplo:

- En una vía urbana de velocidad de diseño de 60 km/h, la longitud de diseñado debe tener un valor de 95 metros según la Tabla 8, se tomará un valor de 100 metros antes de generar la desaceleración y 100 metros libres para desarrollar la aceleración, por lo tanto, la longitud de diseño será de 200 metros.
- En el caso de una vía rural la longitud de diseño será de 195 metros según la Tabla 8, por lo tanto, la longitud de diseño será de 200 metros hacia la desaceleración y 200 metros en la aceleración para un total de 400 metros.

Un parámetro importante de la vía es no contar con una pendiente superior al 8 %.

El productor final debe ser el diseño geométrico de la vía, donde se discrimine ancho de la vía, ancho de carriles, diseño en planta y perfil.

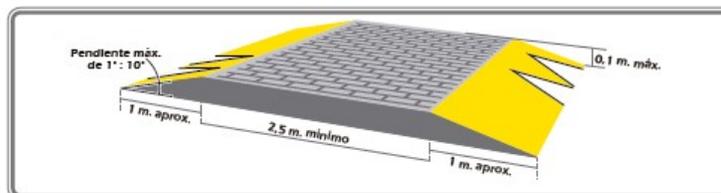
1.3.2.2. Diseño de la geometría del dispositivo y su ubicación. Es importante tener en cuenta las limitaciones para poder lograr una buena ubicación del dispositivo, además, debemos seleccionar el tipo de reductor: tope, circular, parabólico, sinusoidal, trapezoidal, cojín, entre otros.

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

A continuación se enumeran los tipos de dispositivos reductores de velocidad que se recomiendan diseñar en el Manual de señalización INVIAS 2015 (ManualSeñalizaciónINVIAS, 2015):

1. Resalto trapezoidal o pompeyano

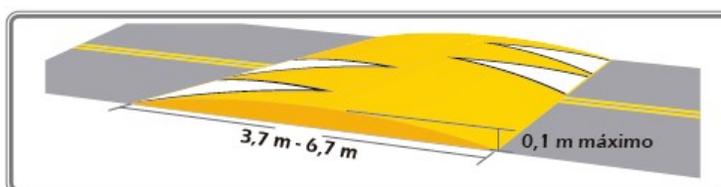
Figura 4: Resalto trapezoidal o pompeyano



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

2. Resalto parabólico o circular

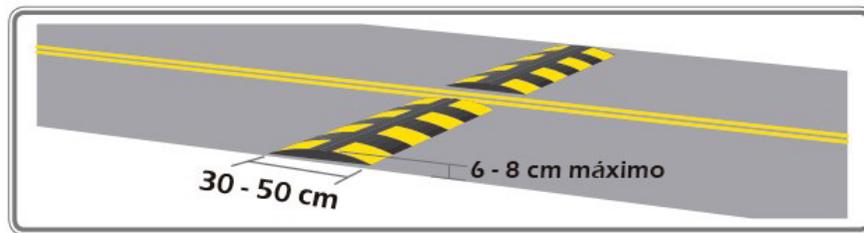
Figura 5: Resalto parabólico o circular



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

3. Resalto portátil

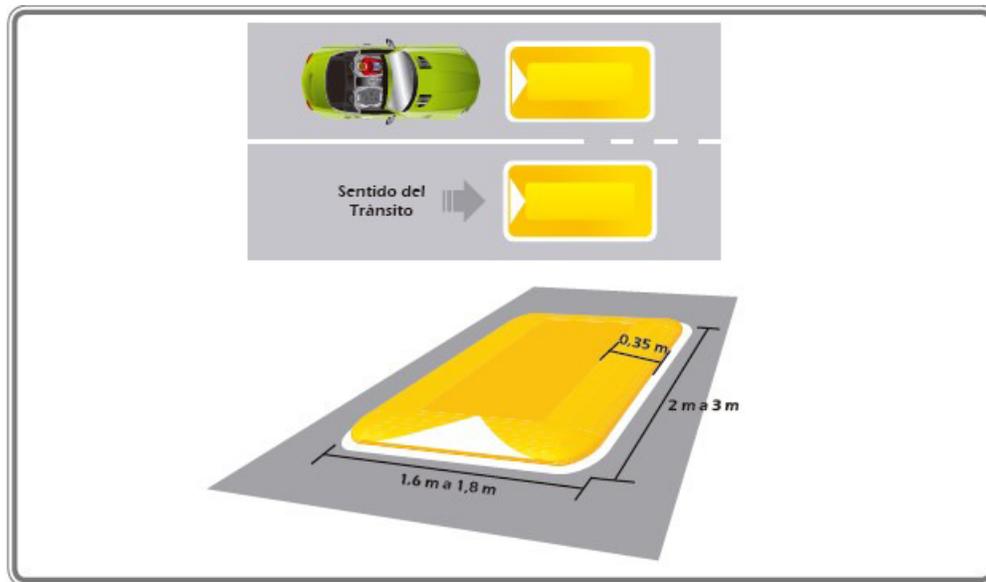
Figura 6: Resalto portátil



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

4. Resalto tipo cojín

Figura 7: Resalto tipo cojín

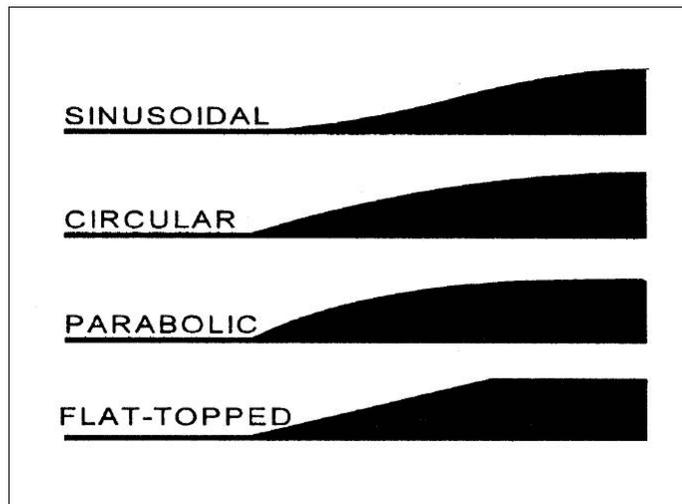


Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

Existen diferentes perfiles para la construcción de un reductor de velocidad, por lo tanto, es importante seleccionar la geometría más conveniente, siempre como condición la experiencia que tenga el equipo de trabajo. (Desde el punto de vista constructivo los más sencillos de construir son el Trapezoidal y el circular).

La ubicación del dispositivo debe evaluarse desde la distancia necesaria para lograr la reducción efectiva de la velocidad de operación del vehículo y de la necesidad de que la velocidad de salida no afecte a un sendero peatonal, otro dispositivo de regulación o plan para calmar el tráfico.

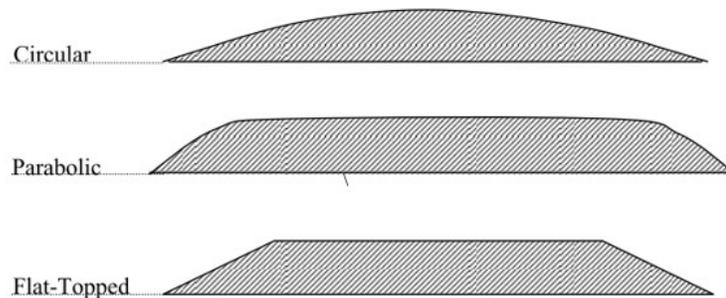
Figura 8: Diferentes Perfiles RV



Fuente:(Ewing, 1999)

Los reductores típicos se presentan en la Figura 9 son los siguientes:

Figura 9: Reductores típicos.



Fuente: (Johnson y a J Nedzesky, 2004)

En las Figuras 8 y 9, 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.
- Tipo parabólico: se emplea en camiones y volquetas.
- 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.

A continuación se detallan algunas pautas para tomar una decisión del tipo de reductor de velocidad recomendados en Colombia y que criterios se pueden tener en cuenta para seleccionarlo:

- El Reductor de Watts en Colombia circular de Longitud = 3.7 m, se recomienda para una calle con paso de automóviles.
- El Reductor Seminole en Colombia parabólico de Longitud = 6.7 m, se recomienda para el paso de vehículos tipo camión.
- 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.
- El sinusoidal poco empleado en Colombia es empleado a nivel internacional para el paso de buses y camiones ya que la rampa de ingreso es más suave, siempre teniendo en cuenta que la longitud depende el vehículo tipo estudiado, que para este caso sería el bus.
- El tipo cojín es muy práctico en zonas donde se pueden presentar problemas de drenaje deficiente o que se dificulta construir sumideros antes o después del reductor de velocidad.
- El tipo tope ya sea construido o portátil, es muy efectivo como una medida provisional, este caso es cuando existe un desvío hacia una calle y las condiciones serán normales en un tiempo definido, una vez se solucione el inconveniente que se tenga con la vía colectora o principal respectiva.

Como guía para tomar una decisión se presenta la siguiente Tabla 9, donde se presenta una encuesta producto de una investigación y que aclara la percepción del reductor tipo Watts y el tipo Seminole.

Tabla 9: Encuesta a residente sobre reductores de velocidad Seminole y Watts

Pregunta	Seminole (%)	Watts %
Reduce la velocidad	60 %	94 %
Reduce el Tráfico	20 %	41 %
Mayor seguridad	65 %	75 %
Incrementa el ruido	5 %	19 %
Aprueba el reductor	80 %	84 %

Fuente: (Marek y Walgren, 1998)

En cualquier caso el reductor de velocidad debe integrar todos los componentes del tramo de vía estudiado, ya sea senderos peatonales, andenes, ciclovías, motovías y planes para calmar el tráfico.

La velocidad final alcanzada al implementar el dispositivo obedece a un ejercicio no solamente técnico, como se apreciará en la etapa del diseño de la estructura del pavimento. El módulo dinámico de la mezcla asfáltica está totalmente relacionado con la velocidad

del vehículo, por lo tanto, al ser conservador el espesor de la carpeta asfáltica dará un valor mayor de lo que espera el funcionario de turno para la aprobación del dispositivo.

La velocidad final se recomienda nunca ser superior de 10 km/h.

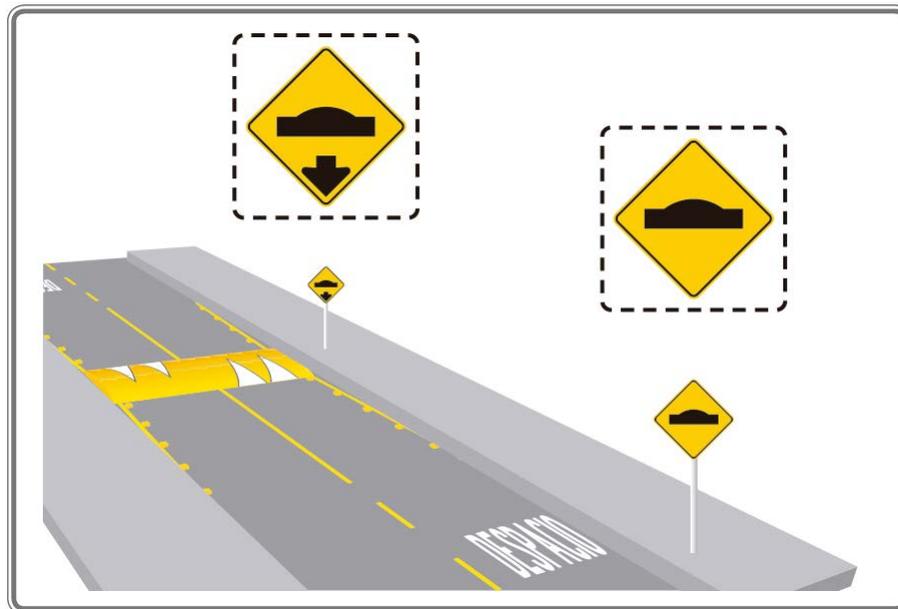
Un valor más real y conservador para la velocidad final es de 5 km/h.

1.3.3. Seguridad vial, demarcación horizontal y señalización vertical.

La Figura 10 es la propuesta por el Manual de Señalización del INVIAS 2.015, presenta una propuesta de demarcación, de lo cual se puede concluir que cuenta con claridad en carreteras cercanas a centros urbanos.

Teniendo en cuenta que en el capítulo de diseño geométrico se define la velocidad de operación de la vía, el efecto de desaceleración por parte del conductor para llegar ya sea a 10 km/h o 5 km/h, dependiendo tanto del tipo de proyecto y evaluando los recursos disponibles para el proyecto. Esta transición de velocidades nos determina la franja de desaceleración y por ende se amarra a la transición de la altura de la carpeta asfáltica como se verá en el capítulo de diseño de pavimentos.

Figura 10: Modelo Señalización Colombia



Fuente: Manual de señalización INVIAS 2015

Teniendo claridad que en la franja de desaceleración y en la zona de ubicación del reductor de velocidad, se plantea que las zonas de ubicación de un reductor de velocidad debe instalarse señalización mucho antes de la planteada en la Figura 10, en donde se alerte de la existencia de esta zona de regulación de velocidad y a 60 metros antes de llegar al dispositivo se propone instalar bandas alertadoras con pintura termoplástica con un espesor no inferior de 3 mm cada 1.2 metros de distancia entre líneas.

La señalización vertical es la propuesta en el manual de señalización 2015, de tal forma que a los 120 metros aparezca la primer señal de alerta de reductor de velocidad (SP-25), la segunda a los 60 metros antes (SP-25) y la de localización del reductor (SP-25A) exactamente sobre el reductor de velocidad.

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

1.3.4. 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.

De igual forma en esta etapa se debe trabajar en la apropiación del espacio público, donde el peatón es el actor principal y el espacio genere seguridad en su circulación.

Para el peatón se plantea lograr texturas diferentes de tal forma que el entorno impacte al conductor del vehículo y de forma subjetiva comprenda que entra a una zona especial donde la disminución de la velocidad es regla general.

El sector en estudio debe ingresar a una franja de renovación urbanística, de tal forma que el impacto sea positivo y que el compartimiento en el sector sea natural y progresivo encaminado al respeto de todos los actores.

Además de la información obtenida, se debe contar con la localización de zonas de parqueo, ya que ellas conllevan a la posterior movilidad de los conductores que pasan a ser peatones.

Ubicación de colegios, centros comerciales, centros deportivos, en general zonas de concentración de personas.

¿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 implementa urbanismo táctico, el cual es provisional y sólo aplica a casos donde el desvío de los vehículos por esa zona es un caso temporal.

1.3.5. 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.

Para el cálculo del espesor de película de agua y la velocidad de inicio del hidroplaneo 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 hidropelaje, 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 hidropelaje, 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 hidropelaje 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 hidropelaje, 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.

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

En todos los casos el diseño hidráulico debe permitir que el drenaje superficial y si es el caso el subdrenaje debe ser controlado, 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.

A continuación, se presenta un ejemplo de hidroplaneo, empleando el método de Galloway, determinar los valores previstos del espesor de la película de agua y la velocidad de inicio del hidroplaneo. La velocidad máxima de la vía es de 60 km/h.

$$PMT = 0,5mm$$

$$I = 100mm/h$$

$$L_R = 12,63m$$

$$S_R = 0,0223m/m$$

$$SD = 10\%$$

$$TD = 0,5mm$$

$$P = 165kPa$$

$$n = 0,045$$

Utilizamos la siguiente ecuación:

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

Reemplazamos los valores y obtenemos lo siguiente:

$$H = 0,01485 \left(\frac{0,5^{0,11} * 12,63^{0,43} * 100^{0,59}}{0,0223^{0,42}} \right) - 0,5 = 2,56mm$$

Luego,

$$A = \frac{12,639}{H^{0,06}} + 3,5 = \frac{12,639}{2,56^{0,06}} + 3,5 = 15,45$$

$$A = \left(\frac{22,351}{H^{0,06}} - 4,97 \right) * PMT^{0,14} = \left(\frac{22,351}{2,56^{0,06}} - 4,97 \right) * PMT^{0,14} = 14,66$$

Se toma el mayor valor para este caso $A = 15,45$.

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

Reemplazando los valores obtenemos lo siguiente:

$$V_H = 0,9143 * 10^{0,04} * 165^{0,3} * (0,5 + 0,794)^{0,06} * 15,45$$

$$V_H = 72,8km/h$$

Debido a que la vía es urbana y es primaria, la velocidad máxima es 60 km. Por lo tanto, la vía no presentaría problemas de hidroplaneo.

A continuación se realizará el cálculo del tiempo de concentración del agua en una trayectoria de flujo:

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

$$T_C = \frac{6,99 * 12,63^{0,6} * 0,045^{0,6}}{100^{0,4} * 0,0223^{0,3}} = 2,47 \text{ minutos}$$

$$T_C = 2,47 \text{ minutos}$$

De esta forma se puede concluir que, la opción más crítica sería el resultado de una lluvia de 2.47 minutos a partir de una velocidad de 72,8 km/h, se presentaría hidroplaneo.

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.

1.3.6. Diseño de pavimentos.

Hay que determinar la franja de aceleración y desaceleración, para lograr un diseño 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 y la velocidad a la que se quiere llegar antes del reductor de velocidad, luego se calcula la longitud de aceleración y la velocidad a la cual se pretende llegar luego de salir del reductor.

Mediante la siguiente expresión se determina la longitud de las franjas:

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

Donde:

D = Distancia de frenado.

V = Velocidad del vehículo (km/h).

f = Coeficiente de rozamiento o fricción.

I = Inclinación de la pendiente de la vía (en tanto por uno; negativa si es descendente).

U = Velocidad final (km/h).

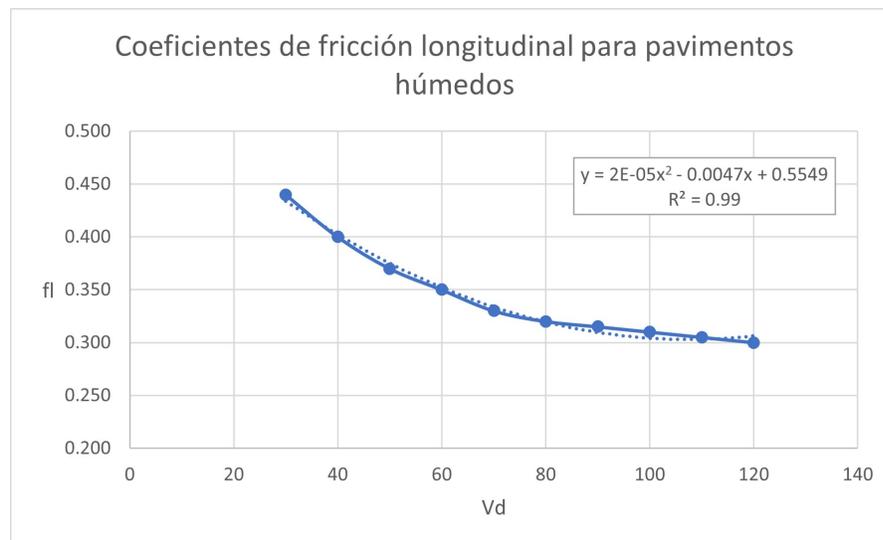
Tabla 10: Fricción longitudinal

Velocidad de diseño V_d (km/h)	Coefficiente de fricción longitudinal f_l
30	0.440
40	0.400
50	0.370
60	0.350
70	0.330
80	0.320
90	0.315
100	0.310
110	0.305
120	0.300

Fuente: Propia, basado en el Manual de diseño de vías. INVIAS 2008.

Con el fin de obtener valores diferentes al de la Tabla 10, se elaboró la Figura 11 y se obtuvo un $R_2 = 0,99$.

Figura 11: Coeficiente de fricción longitudinal



Fuente: Propia, basado en el Manual de diseño de vías. INVIAS 2008.

Tiene la siguiente expresión:

$$f_l = 0,00002V_d^2 - 0,0047V_d + 0,5549$$

La velocidad de diseño de la franja es muy importante ya que con este parámetro podremos determinar el módulo de la mezcla asfáltica y con este dato de entrada obtendremos el espesor de la carpeta asfáltica. Para efectos prácticos la velocidad de diseño de la

franja será la mínima que se espera al entrar al dispositivo, debe pasar de 30 km/h - 5 km/h. Para ello se empleará la Tabla 11.

Tabla 11: 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: (AASHTO, 2018)

Hay que encontrar la longitud de las zonas de transición de las estructuras del pavimento, las cuales corresponden a las franjas de aceleración y desaceleración, teniendo en cuenta como parámetro principal la velocidad de la calle y la velocidad final al cruzar el reductor de velocidad.

Según la Tabla 7, la franja es de 35 metros de desaceleración y otros 35 metros para la aceleración, la cual igualmente es la transición del espesor del pavimento.

Otra metodología más exacta es la siguiente:

La distancia de parada está dada por la siguiente expresión:

$$D_p = 0,556V_d + \frac{V_d^2}{254(f_l + I)}$$

Donde:

D_p = Distancia de parada.

V = Velocidad del vehículo (km/h).

f = Coeficiente de rozamiento o fricción.

I = Inclinación de la pendiente de la vía (en tanto por uno; negativa si es descendente).

Para el ejemplo tenemos los siguientes datos:

Inclinación del 1 %

Velocidad Inicial = 30 km/h. $f_{inicial} = 0,4319$

Velocidad Final = 5 km/h. $f_{final} = 0,5319$

Por lo tanto, la distancia $D_p = 27,85$, aproximadamente 30 metros.

El diseño del pavimento flexible tiene el siguiente desarrollo:

Cálculo del módulo de rigidez del asfalto:

Para ello se empleará el nomograma de Van Der Poel, debemos encontrar el Índice de Penetración (IP):

$$IP = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$$

$$A = \frac{\log(Pen_{T_1}) - \log(Pen_{T_2})}{T_1 - T_2}$$

Donde:

A : Susceptibilidad térmica del asfalto.

T_1, T_2 : Temperaturas de penetración del asfalto.

Pen_{T_1}, Pen_{T_2} : Penetración del asfalto para la T_1 y T_2 , respectivamente (1/10 mm).

También se puede emplear la siguiente expresión:

$$A = \frac{\log(Pen_T) - \log 800}{T - T_{R\&B}}$$

T : Temperatura de referencia de penetración del asfalto (°C).

Pen_T : Penetración del asfalto para la temperatura T (1/10mm).

$T_{R\&B}$: Temperatura a la cual la penetración del asfalto es de 800 1/10 mm (°C).

800: Penetración del asfalto de 800 1/10 mm.

$$\Delta T_{[^\circ C]} = T_{800[^\circ C]} - T_{mix[^\circ C]}$$

Van Der Poel encontró que el módulo de rigidez en una frecuencia f se relaciona con la siguiente:

$$f = \frac{1}{2\pi t}$$

Con la siguiente expresión se logra determinar el valor de la frecuencia, valor que se ingresa en el nomograma de Van der Poel:

$$\log(t) = 0,5d - 0,2 - 0,94 \log(v)$$

t : Tiempo de aplicación de la carga (s).

d : Profundidad del pavimento (m).

v : Velocidad del vehículo (km/h).

f : Frecuencia de la carga (Hz)

A continuación se presenta un ejemplo de la metodología de diseño de un pavimento, para un espesor de pavimento $d= 0.10$ m:

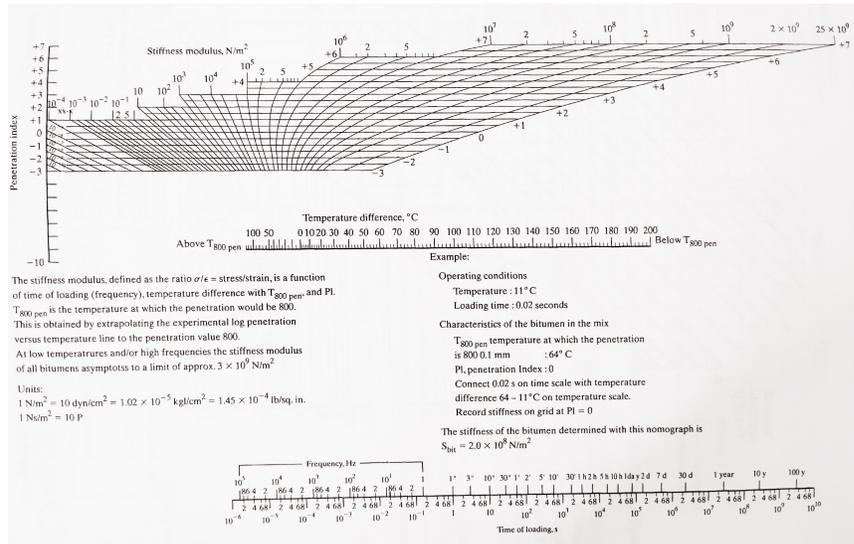
Tabla 12: Aplicación fórmula de Brown(1.974)

Tiempo de aplicación de la carga (s)	Frecuencia de la carga (Hz)	Velocidad del Vehículo (Km/h)
0.0151	10.55	60
0.0179	8.89	50
0.0221	7.21	40
0.0289	5.50	30
0.0424	3.76	20
0.0813	1.96	10
0.1559	1.02	5

fuentes: (AASHTO, 2018)

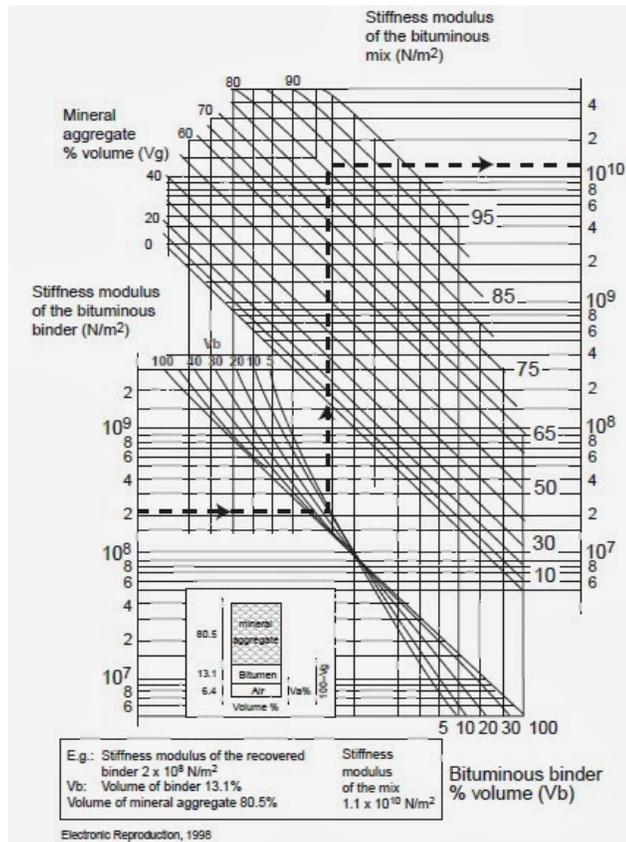
Con los parámetros definidos se obtiene el módulo de rigidez del asfalto por medio del nomograma de Van der Poel y el nomograma Smix:

Figura 12: Nomograma de Van der Poel



Fuente: Van der Poel

Figura 13: Nomograma Smix



Fuente: Nomograma Smix

Hay que tener en cuenta que para encontrar el módulo dinámico de la mezcla asfáltica existen otras opciones:

- Estos módulos se pueden encontrar por diferentes metodologías existentes, lo importante es contar con el soporte científico o la literatura correspondiente que la avale.
- También en la actualidad es posible encontrar la curva maestra de la mezcla asfáltica que se instalará.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del módulo.

Para el diseño del pavimento flexible se empleará la Metodología AASHTO:

$$\log(N) = Z_R S_0 + 9,3 \log(SN + 1) - 0,2 + \left[\frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} \right] + 2,32 \log(M_R) - 8,07$$

Donde:

W_{18} : Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 Toneladas.

Z_R : Desviación estándar normal.

S_0 : Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

ΔPSI : Diferencia entre el índice de servicios inicial (P_0) y el final (P_t).

M_R : Módulo resiliente.

Además se deben definir los siguientes parámetros:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i , el cual depende de la característica del material con que se construya.

d_i : Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa i .

De acuerdo con la metodología AASHTO, los pasos a seguir con el fin de garantizar el espesor mínimo requerido por control de capas son los siguientes:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_{1(REAL)} = a_1 * D_1 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_{1(REAL)}}{a_2 * m_2}$$

$$SN_{2REAL} = SN_{1(REAL)} + a_2 * D_2 * m_2 \geq SN_2$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - SN_{2(REAL)}}{a_3 * m_3}$$

$$SN_{3REAL} = SN_{2(REAL)} + a_3 * D_3 * m_3 \geq SN_3$$

$$SN_{3REAL} \geq SN_3$$

(Huang, 2004)

Este parámetro no es tenido en cuenta en el caso de construir un reductor en pavimento rígido.

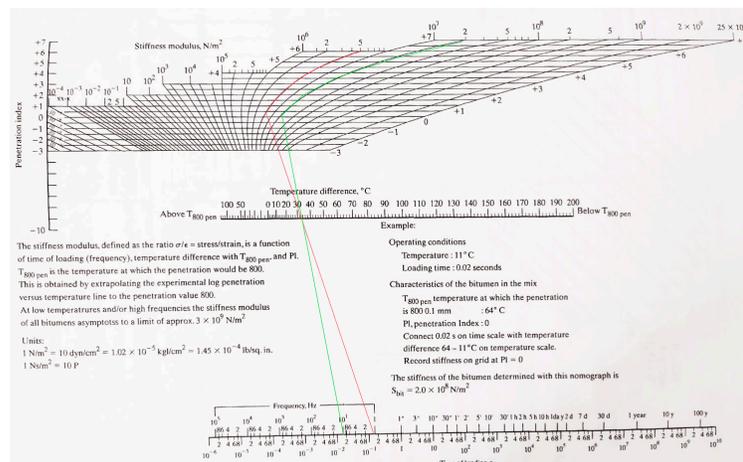
El diseño del pavimento debe contar con la aprobación de la entidad correspondiente y debe incluirse este documento en solicitud de revisión del dispositivo.

A continuación se presenta un ejemplo del diseño del pavimento, incluido el cálculo del módulo dinámico.

- Cálculo módulo dinámico de la mezcla

Para tener claridad en el procedimiento de diseño se realiza un ejemplo, para notar la diferencia de un diseño teniendo en cuenta la velocidad normal con color verde y con color rojo la velocidad a 5 km/h, que sería la velocidad entrando y saliendo del reductor de velocidad parabólico.

Figura 14: Nomograma de Van der Poel



Fuente: Van der Poel

$$\Delta T_{[^{\circ}C]} = T_{800[^{\circ}C]} - T_{mix[^{\circ}C]}$$

$$\Delta T_{[^{\circ}C]} = 52_{[^{\circ}C]} - 19_{[^{\circ}C]} = 33_{[^{\circ}C]}$$

$$T_{MIX} = 19,7[^{\circ}C]$$

Frecuencia = 1.02 Hz para 5 km/h; 10 Hz para 60 km/h

IP = 0.3

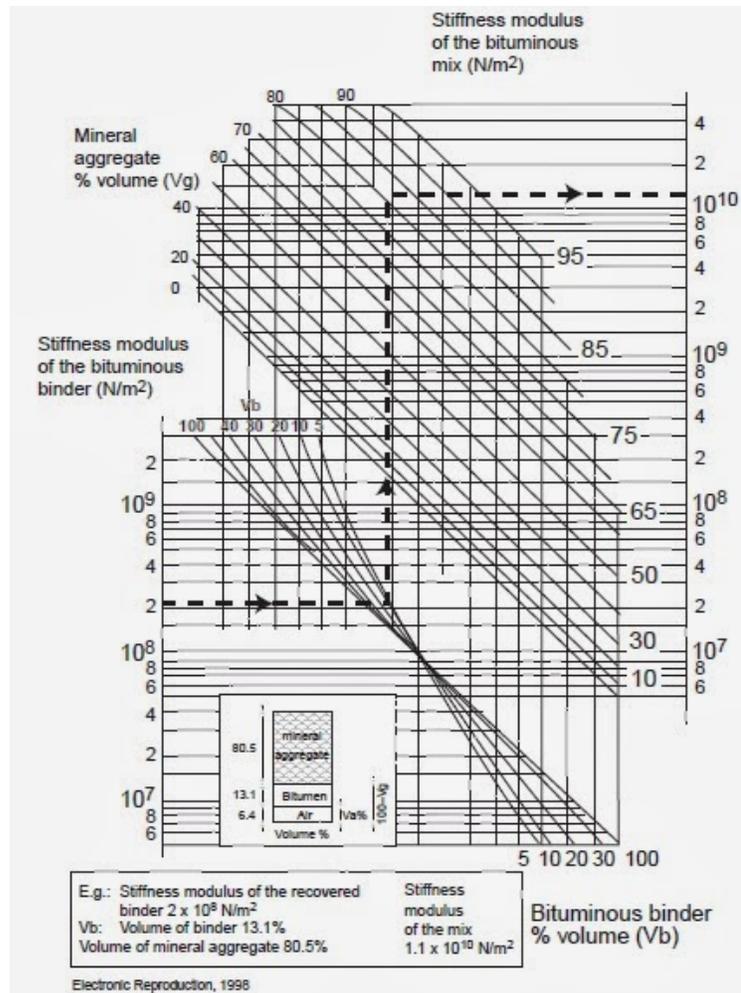
$$S_{b1Hz} = 5 \times 10^6 N/m^2 \quad S_{b10Hz} = 2 \times 10^7 N/m^2$$

Con los siguientes parámetros ingresamos a la Figura 15:

$$\%V_b = 10,8 \%$$

$$\%V_g = 85,2 \%$$

Figura 15: Nomograma Smix



Fuente: Nomograma Smix

$$S_{mix1Hz} = 5 \times 10^8 N/m^2 = 71,117 = 500 MPa$$

$$S_{mix10Hz} = 3 \times 10^9 N/m^2 = 426,700 = 3,000 MPa$$

■ Diseño de pavimentos

A continuación se desarrolla un ejemplo de diseño, es importante entender que estamos trabajando con una frecuencia de 1 Hz:

$$a_1 = 0,0052 * (M_{MIX})^{0,555} = 0,0052 * 500^{0,555} = 0,16$$

$$a_2 = 0,249 * \log(M_{RBASE}) - 0,977 = 0,249 * \log(28,000) - 0,977 = 0,13$$

$$a_3 = 0,227 * \log(M_{RSUBBASE}) - 0,839 = 0,227 * \log(15,000) - 0,839 = 0,11$$

Contamos con los siguientes parámetros de diseño:

$$Z_R = -1,037(85\%)$$

Tabla 13: Desviación Normal Estándar Z_R .

Confiabilidad (%)	Z_R
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282

Fuente: AASHTO

$$S_o = 0,45$$

Tabla 14: Error normal combinado para pavimentos flexibles S_o .

Proyecto de Pavimento	Desviación Estándar S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
Construcción nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

Fuente: AASHTO

$$\Delta PSI = 4,2(P_0) - 2,0(P_t) = 2,2$$

Tabla 16: Servicialidad Final P_t .

Tipo de Vía (%)	Servicialidad Final P_t
Carreteras	2.0 - 2.5
Autopista	2.5 - 3.0
Urbana	1.5 - 2.0

Fuente: AASHTO

Tabla 15: Servicialidad Inicial P_0

Tipo Pavimento (%)	Servicialidad Inicial P_0
Concreto Hidráulico	4.5
Concreto Asfáltico	4.2

Fuente: AASHTO

$$W_{18} = 50,000 \text{ ejes simplesequivalentes de } 8,2 \text{ toneladas}$$

$$M_{R_{SUBRASANTE}} = 9,669 \text{ PSI}$$

$$M_{R_{SUBBASE}} = 15,000 \text{ PSI}$$

$$M_{R_{BASE}} = 28,000 \text{ PSI}$$

$$M_{R_{MIXASFALTICA}} = 72,250 \text{ PSI} = 500 \text{ MPa}$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = 1$$

El coeficiente de drenaje m , se obtiene de la Tabla 17 y 18.

Tabla 17: Calidad del drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo que drena el agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	No evacua

Fuente: AASHTO

Tabla 18: Valores de m , recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares.

Calidad del Drenaje	Porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.30 - 1.15	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: AASHTO

$$SN_1 = 0,82; a_1 = 0,16; m_1 = 1,00$$

$$SN_2 = 1,12; a_2 = 0,13; m_1 = 1,00$$

$$SN_3 = 1,37; a_3 = 0,11; m_1 = 1,00$$

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \geq \frac{0,82}{0,16} \geq 5,125 \text{pulgadas} \geq 13 \text{centimetros}$$

$$SN_{1(REAL)} = a_1 * D_1 \geq SN_1 = 0,16 * 5,125 = 0,82 \geq SN_1$$

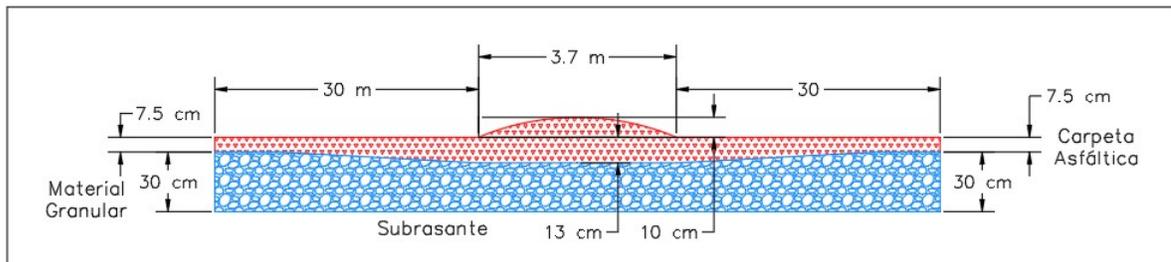
$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_{1(REAL)}}{a_2 * m_2} \geq \frac{1,12 - 0,82}{0,13 * 1} \geq 2,31 \text{pulgadas} \geq 6 \text{centimetros}$$

$$SN_{2REAL} = SN_{1(REAL)} + a_2 * D_2 * m_2 \geq SN_2 = 0,82 + 0,13 * 7,87 * 1 = 1,84$$

No necesita subbase, por lo tanto, termina el diseño aquí.

$$SN_{3REAL} \geq SN_3 = 1,84 \geq 1,37$$

Figura 16: Plano constructivo en perfil del pavimento



Fuente: Propia

En la Figura 16, se muestra el plano constructivo en donde se logra concluir lo siguiente:

- El pavimento existente en la vía es de 7.5 cm con 30 cm de estructura granular (base y subbase).
- El frenado y la aceleración en un tramo de 30 metros genera una transición en el espesor del pavimento, aumentando el espesor de la carpeta asfáltica de 7.5 cm de la estructura existente a 13 cm en la zona del dispositivo.
- El reductor seleccionado obedece a un caso de velocidades altas en una zona posiblemente residencial y se hace necesario proteger a la comunidad generando una disminución. Las medidas son las siguientes:
 - Altura 10 centímetros.

- Longitud 3.7 metros.
- Ancho de la vía, es la correspondiente al ancho existente, no fue modificada la geometría.
- La transición de los materiales granulares corresponde a continuar conservando el nivel en la subrasante de la estructura existente, aproximadamente 25 cm, aunque en el diseño se llega a que el material granular es de 20 cm, constructivamente es más fácil desarrollar el proyecto sin muchos cambios.

2. Formularios para implementar la guía

Figura 17: Formulario A1: Solicitud de implementación de un reductor

Formulario A1: Solicitud de Implementación de un reductor de velocidad	
Información de quien realiza la solicitud	
Nombre: _____	Ciudad: _____
Dirección: _____	Barrio: _____
Comuna: _____	Sector: _____
Información del Representante de la comunidad:	
Dirección: _____	Barrio: _____
Teléfono1: _____	Teléfono1: _____
Información de la vía:	
Vía urbana <input type="checkbox"/> Vía rural <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Vía Comercial <input type="checkbox"/> Un carril <input type="checkbox"/> Dos carriles <input type="checkbox"/> Zona semaforizada <input type="checkbox"/> Ciclovías <input type="checkbox"/>	
Demarcación deficiente <input type="checkbox"/> Señalización deficiente <input type="checkbox"/> Zona recreacional <input type="checkbox"/> Zona universitaria o escolar <input type="checkbox"/> Restaurantes, hoteles o bares <input type="checkbox"/>	
Centros médicos <input type="checkbox"/> Empresas de servicios públicos <input type="checkbox"/> Andenes <input type="checkbox"/> Pasos peatonales <input type="checkbox"/> Puentes peatonales <input type="checkbox"/> Motovia <input type="checkbox"/>	
Zona de conflictos peatones, bicicletas, motocicletas y automotores <input type="checkbox"/> Esta vía es ruta de vehiculos de emergencia <input type="checkbox"/> Vías compartidas <input type="checkbox"/>	
Iluminación deficiente <input type="checkbox"/> Mal estado del pavimento <input type="checkbox"/> Intersecciones semaforizadas <input type="checkbox"/> Transporte público Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
La solicitud fue socializada con la comunidad Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Anexa firmas de respaldo de la solicitud Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Descripción del Problema:	
<div style="border: 1px solid black; height: 150px;"></div>	
Requerimiento para la solución del problema:	
<div style="border: 1px solid black; height: 150px;"></div>	

Fuente: Propia

Figura 18: Formulario A2: Evaluación de la solicitud

Formulario A2. Evaluación de la solicitud

Clasificación del proyecto

Vía urbana Vía rural

Residencial Vía Comercial Una calzada Dos calzadas Un carril Dos carriles

Conflicto por ser zona de desvío Zona de PMT Vías cercanas en mantenimiento

Zona semaforizada

Velocidad de la vía según su jerarquía: _____ Velocidad de operación (V_{85}): _____

Volumen de tráfico: _____

Siniestralidad

Establecimientos cercanos:

Entidades educativas Centros médicos Empresas de servicios públicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares

Espacio público:

Andenes Pasos peatonales Ciclo vías Vías compartidas

Dispositivos de tránsito Motovía Intersecciones semaforizadas Puentes peatonales

Transporte público Si No

Número de predios en la zona a estudiar:

Número de viviendas _____ Número locales comerciales _____

Objetivos a tener en cuenta en el diseño del dispositivo

Reducción de velocidad

Reducir la infiltración del tráfico al sector

Reducir el tráfico que ingresa de forma directa al sector (comercio - centros educativos)

Observaciones:

Fuente: Propia

Figura 19: Formulario A3: Verificación de la elegibilidad

Formulario A3: Verificación de la Elegibilidad

Características de la vía

Vía rural

Primaria de dos calzadas Primaria de una calzada Secundaria Terciaria

Vía urbana

Arteria principal Arteria secundaria Colectora Marginal Paisajística Local Semipeatonal

Una calzada Doble calzada Un carril Dos carriles

Residencial Zona comercial Entidades educativas Centros médicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares Empresas de servicios públicos

Velocidad de la vía según su jerarquía: _____ Velocidad de operación (V_{85}): _____

Volumen de tráfico: _____

Siniestralidad

Vía que lleva a un sector residencial o vía colectora Zona de desvío Obra cercana

Vía con bajo volumen de tráfico (Vía fluida) Vía con problemas de capacidad vial

Ruta donde circulan vehículos de emergencias

Proceso de socialización con la comunidad

Hay observaciones del grupo de emergencias Si No Cuál? _____

El reductor de velocidad se encuentra en alguna de las limitaciones? Si No Cuál? _____

Número de viviendas _____ Número locales comerciales _____

Se ha detallado la zona aferente? Si No

La solicitud fue socializada con la comunidad Anexa firmas de respaldo de la solicitud Si No

Socialización Si No Votación? Si No Porcentaje a favor: _____

Se levantó acta? Si No Se anexa copia? Si No Número de participantes de la socialización _____

Se encuentra priorizada la vía para construir un reductor de velocidad? Si No

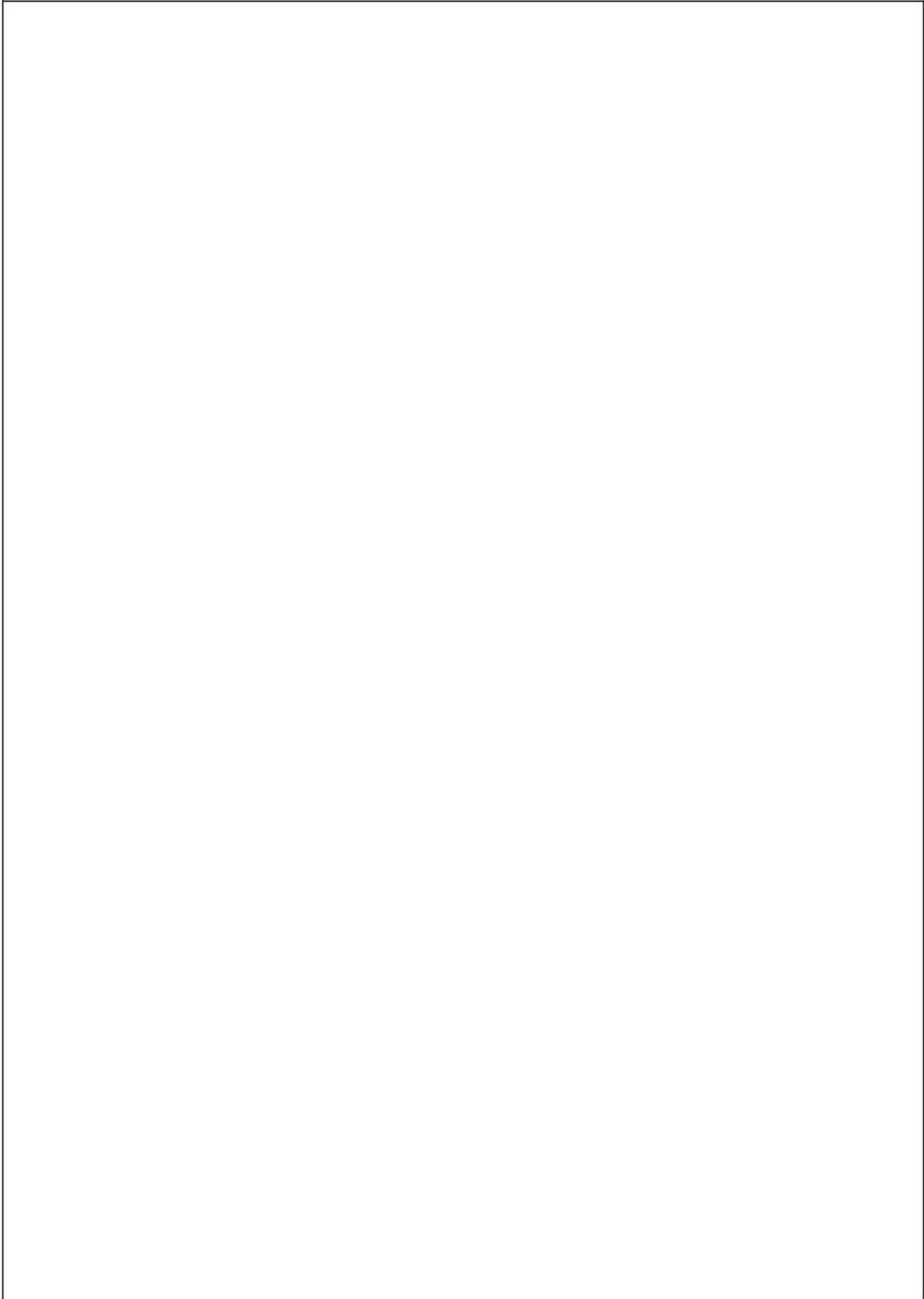
Observaciones:

Fuente: Propia

Figura 20: Formulario A4: Área aferente del proyecto

Formulario A4: Área aferente del proyecto

Zona aferente



Fuente: Propia

Tabla 19: Formulario A5: Chequeo del Diseño de Pavimentos

Formulario A5: Chequeo del diseño de pavimentos		
Parámetros		valor
Geometría de la vía		
Ancho de carriles	metros	
Ancho de cunetas	metros	
Número de carriles por dirección		
Tipo de vía y velocidad de diseño		
Vía colectora	60 - 80 km/h	
Vía marginal	60 km/h	
Vía paisajística	50 km/h	
Vía local	30 - 50 km/h	
Vía semipeatonal	30 km/h	
Distancia de recorrido para desacelerar al reductor (m)		
Ver páginas 27 - 28	metros	
Módulo dinámico de la mezcla asfáltica		
Módulo vía existente	psi	
Velocidad del vehículo	km/h	
Tiempo de aplicación de la carga (t)	segundos	
Frecuencia (f)	Hz	
Módulo dinámico de la base granular	psi	
Módulo dinámico de la subbase granular	psi	
Módulo del conjunto mejoramiento - subrasante	psi	
Módulo dinámico de la subrasante granular	psi	
Diseño de pavimentos		
Tránsito W_{18}	Ejes 8.2 Ton	
Z_R Desviación Estándar		
S_o Error estándar combinado		
ΔPSI		
Índice de Servicialidad Presente inicial	P_o	
Índice de Servicialidad Presente final	P_t	
Coeficientes Estructurales		
a_1	Carpeta Asfáltica	
a_2	Base Granular	
a_3	Subbase Granular	
Coeficientes de Drenaje		
m_1	Carpeta Asfáltica	
m_2	Base Granular	
m_3	Subbase Granular	
Número Estructural		
SN_1	Carpeta Asfáltica	
SN_2	Base Granular	
SN_3	Subbase Granular	
Estructura de Pavimento		
Espesor Carpeta Asfáltica	cm	
Espesor Base Granular	cm	
Espesor Subbase Granular	cm	
Espesor Mejoramiento	cm	

Fuente: Propia

Tabla 20: Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad

Formulario A6: Estudios para diseñar y aprobar un reductor de velocidad.		
Estudio de Tránsito.	Estudio de volúmenes y composición vehicular.	Análisis y selección del vehículo tipo.
	Conflicto de tráfico multimodal.	Análisis peatones, bicicletas y motorizados.
	Estudio de volúmenes de peatones.	Análisis conflictos peatonales.
	Estudio de velocidades.	Análisis con respecto al tipo de vía y el uso del suelo.
	Análisis de siniestralidad.	Si hay casos, la decisión debe ser inmediata.
	Definir si la calles es una ruta de emergencia.	Análisis conflicto dispositivo vs emergencia.
	Censo de edificios públicos.	Evaluar rutas de comportamiento peatonal.
Diseño Geométrico.	Desvío de tráfico.	Análisis de acceso a puentes, giros y cruces conflictivos.
	Diseño geométrico de la calle.	Análisis diseño en planta.
		Análisis diseño en perfil.
		Análisis sección transversal.
	Diseño geométrico del dispositivo.	Reductor de velocidad tipo Circular.
		Reductor de velocidad tipo Trapezoidal.
		Reductor de velocidad provisional tipo tope.
Seguridad Vial.	Limitaciones.	Vías colectoras y arterias principales.
	Siniestralidad.	Porcentaje de vehículos pesados mayor del 5 %
		Análisis siniestralidad.
		Análisis parqueo y prohibido parquear.
	Señalización.	Conflicto Paraderos.
		Implementar señalización. Reductor de velocidad y señales transición de velocidad máxima de cada tramo
		Espacio público.
Revisión paisajística.	Revisión paisajista.	Evaluar si es provisional o definitivo.
Diseño Hidráulico	Urbanismo táctico.	Análisis de seguridad.
	Hidroplano	Análisis del sistema vs seguridad vial.
Diseño de Pavimentos.	Diseño de estructuras hidráulicas	Espesor de la zona del reductor.
	Estructura de Pavimento.	Espesor de la zona de transición del pavimento al reductor.

Fuente: Propia

Nota 1: Para iniciar el proceso de diseño debe existir un estudio previo que lo solicite o solicitud de la comunidad quien por medio de un formulario según la entidad local.

Nota 2: La solicitud debe ser evaluada, de acuerdo con el tipo de vía, priorización y presupuesto.

Nota 3: Realizar audiencia pública, censo residentes, entidades, negocios y determinar rutas de emergencia.

Nota 4: Debe contar con la aprobación de la comunidad en la audiencia, con una participación no inferior del 60% .

3. Ejemplos prácticos en Popayán.

3.1. Sector rural vereda Pisojé

3.1.1. Proceso de solicitud del dispositivo por parte de la comunidad

El primer trabajo práctico corresponde al sector conocido como piscinas de comfacauca, en donde la comunidad se encuentra solicitando la instalación de reductores de velocidad. Este sector se encuentra priorizado por la Secretaría de Tránsito de Popayán, como un lugar para evaluar la seguridad vial.

A continuación en la Figura 21, se presenta la solicitud de la comunidad:

Figura 21: Formulario A1: Solicitud vereda Pisojé

Formulario A1: Solicitud de Implementación de un reductor de velocidad			
Información de quien realiza la solicitud			
Nombre:	FABIÁN ANDRÉS RUIZ SOLARTE	Ciudad:	POPAYÁN
Dirección:	VEREDA PISOJÉ	Barrio:	QUINTAS DE JOSÉ MIGUEL
Comuna:	DOS	Sector:	PISCINAS COMFACAUCA
Información del Representante de la comunidad:			
Dirección:	CARRERA 5A # 58N - 15. CASA E10.	Barrio:	QUINTAS DE JOSE MIGUEL
Teléfono1:	3186164827	Teléfono1:	
Información de la vía:			
Vía urbana	<input type="checkbox"/>	Vía rural	<input checked="" type="checkbox"/>
Residencial	<input type="checkbox"/>	Vía Comercial	<input type="checkbox"/>
Un carril	<input type="checkbox"/>	Dos carriles	<input checked="" type="checkbox"/>
Zona semaforizada	<input type="checkbox"/>	Cicloviás	<input checked="" type="checkbox"/>
Demarcación deficiente	<input checked="" type="checkbox"/>	Señalización deficiente	<input type="checkbox"/>
Zona recreacional	<input checked="" type="checkbox"/>	Zona universitaria o escolar	<input checked="" type="checkbox"/>
Restaurantes, hoteles o bares	<input checked="" type="checkbox"/>	Centros médicos	<input type="checkbox"/>
Empresas de servicios públicos	<input type="checkbox"/>	Andenes	<input checked="" type="checkbox"/>
Pasos peatonales	<input type="checkbox"/>	Puentes peatonales	<input type="checkbox"/>
Motovía	<input type="checkbox"/>	Zona de conflictos peatones, bicicletas, motocicletas y automotores	<input checked="" type="checkbox"/>
Esta vía es ruta de vehículos de emergencia	<input type="checkbox"/>	Vías compartidas	<input type="checkbox"/>
Iluminación deficiente	<input checked="" type="checkbox"/>	Mal estado del pavimento	<input checked="" type="checkbox"/>
Intersecciones semaforizadas	<input type="checkbox"/>	Transporte público	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
La solicitud fue socializada con la comunidad	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Anexa firmas de respaldo de la solicitud	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Descripción del Problema:			
Esta zona rural, en límites con la zona urbana tiene un gran conflicto con la circulación de automóviles y volquetas que transportan materiales granulares para la construcción de vías. En el mismo espacio contamos con ciclistas y peatones que comparten el mismo espacio, debido a una deficiencia urbanística que permita en conjunto circular; de igual forma nos encontramos en una zona con restaurantes, universidades y una zona recreativa que es la más importante de la ciudad. Además, esta zona rural que hoy se encuentra en proceso de construcción de viviendas residenciales, genera problema con las aguas lluvias, lo que conlleva a inundaciones de los barrios San Fernando y Guayaques, hecho que hace colapsar la vía en época de lluvias, dado que no hay colectores pluviales que transporten las aguas lluvias de estos barrios que cuentan con un sistema de aguas lluvias sólo con capacidad del barrio. Las personas del sector ven que una vía que era del orden rural, hoy se convierte en una opción para llegar al norte de la ciudad, cambiando de esta forma la percepción de seguridad de los peatones y ciclistas que usan la ciclovia y la carrera 5A.			
Requerimiento para la solución del problema:			
La comunidad considera que la instalación de reductores de velocidad en el sector pueden ayudar a mejorar la percepción de seguridad vial de este sector rural que cada día avanza hacia un sector urbano de la ciudad.			

Fuente: Propia

Esta zona presenta conflictos entre usuarios de la vía, la anterior ola invernal mostró deficiencias en el sistema de recolección y transporte de aguas lluvias, y la ciclovia presenta conflicto peatones - bicicletas, dado que no hay andenes.

A continuación en la Figura 22, se presenta la evaluación por parte de quien toma la solicitud:

Figura 22: Formulario A2: Evaluación de la solicitud Pisojé

Formulario A2. Evaluación de la solicitud

Clasificación del proyecto

Vía urbana Vía rural

Residencial Vía Comercial Una calzada Dos calzadas Un carril Dos carriles

Conflicto por ser zona de desvío Zona de PMT Obras cercanas

Zona semaforizada

Velocidad de la vía según su jerarquía: Secundaria Velocidad de operación (V_{GS}): 40 km/h

Volumen de tráfico: TPD menor de 500

Siniestralidad

Establecimientos cercanos:

Entidades educativas Centros médicos Empresas de servicios públicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares

Espacio público:

Andenes Pasos peatonales Ciclovias Vías compartidas

Dispositivos de tránsito Motovía Intersecciones semaforizadas Puentes peatonales

Transporte público Si No

Número de predios en la zona a estudiar:

Número de viviendas 350 Número locales comerciales 12

Objetivos a tener en cuenta en el diseño del dispositivo

Reducción de velocidad

Reducir la infiltración del tráfico al sector

Reducir el tráfico que ingresa de forma directa al sector (comercio - centros educativos)

Observaciones:

Al evaluar la vía nos encontramos que sirve para la movilidad auxiliar, cuando la carrera 9 (Autopista), se encuentra congestionada, a la falta de vías alternas para llegar al norte de la ciudad, este tráfico está creciendo y esto conlleva a que la velocidad del sector sobrepase la velocidad permitida que es de 30 km/h.

La construcción de los reductores en primera instancia son necesarios y su ubicación dependerá de la infraestructura existente en este sector.

La movilidad no es buena, debido a que existe un cuello de botella y es el puente del ferrocarril sobre el río Cauca, el cual restringe mucho el paso de vehículos.

En el sector encontramos universidades (2), centro recreativo (1), restaurantes (5) y en la zona aferente existe un colegio y la venta de material granular para las obras de Popayán, el conflicto grave es la circulación de peatones, bicicletas y motocicletas por la ciclovia.

No se cuenta con pasos peatonales, señalización deficiente, iluminación deficiente y poca seguridad.

Se comparte lo expuesto en el formulario de elegibilidad: Existe conflicto multimodal, volquetas, automóviles, motocicletas, bicicletas y peatones, circulan en espacios compartidos.

Se recomienda pasar a la siguiente fase de estudios y diseños, para determinar si es factible la construcción de reductores de velocidad.

Fuente: Propia

A continuación en la Figura 23, se presenta la elegibilidad por parte de quien toma la solicitud:

Figura 23: Formulario A3: Elegibilidad vereda Pisojé

Formulario A3: Verificación de la Elegibilidad

Características de la vía

Vía rural

Primaria de dos calzadas Primaria de una calzada Secundaria Terciaria

Vía urbana

Arteria principal Arteria secundaria Colectora Marginal Paisajística Local Semipeatonal

Una calzada Doble calzada Un carril Dos carriles

Residencial Zona comercial Entidades educativas Centros médicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares Empresas de servicios públicos

Velocidad de la vía según su jerarquía: 50 km/h - 80 km/h Velocidad de operación (V₈₅): 40 km/h

Volumen de tráfico: TPD menor de 500

Siniestralidad

Vía que lleva a un sector residencial o vía colectora Zona de desvío Obra cercana

Vía con bajo volumen de tráfico (Vía fluida) Vía con problemas de capacidad vial

Ruta donde circulan vehículos de emergencias Si No

Proceso de socialización con la comunidad

Hay observaciones del grupo de emergencias Si No Cuál? _____

El reductor de velocidad se encuentra en alguna de las limitaciones? Si No Cuál? _____

Número de viviendas 350 Número locales comerciales 12

Se ha detallado la zona aferente? Si No

Anexa firmas de respaldo de la solicitud Si No

Socialización Si No Votación? Si No Porcentaje a favor: _____

Se levantó acta? Si No Se anexa copia? Si No Número de participantes de la socialización _____

Se encuentra priorizada la vía para construir un reductor de velocidad? Si No

Observaciones:

Esta zona es el corredor de desvío cuando la carrera 9 (Autopista), se encuentra congestionada; de forma inesperada el tráfico aumenta generando inconveniente a los habitantes del sector.

Las volquetas de la empresa Conexpe, circulan en la vía y se desvían hacia pisojé alto, dicho movimiento genera incomodidad en los habitantes del sector y consideran que la infraestructura vial no es suficiente.

Existe conflicto peatones y ciclistas en la ciclo vía anexa a la carrera 5A, debido a la falta de andenes; en esta misma vía en algunos sectores transitan motocicletas y hasta automóviles (problema de falta de autoridad).

Existe conflicto multimodal, volquetas, automóviles, motocicletas, bicicletas y peatones, circulan en espacios compartidos.

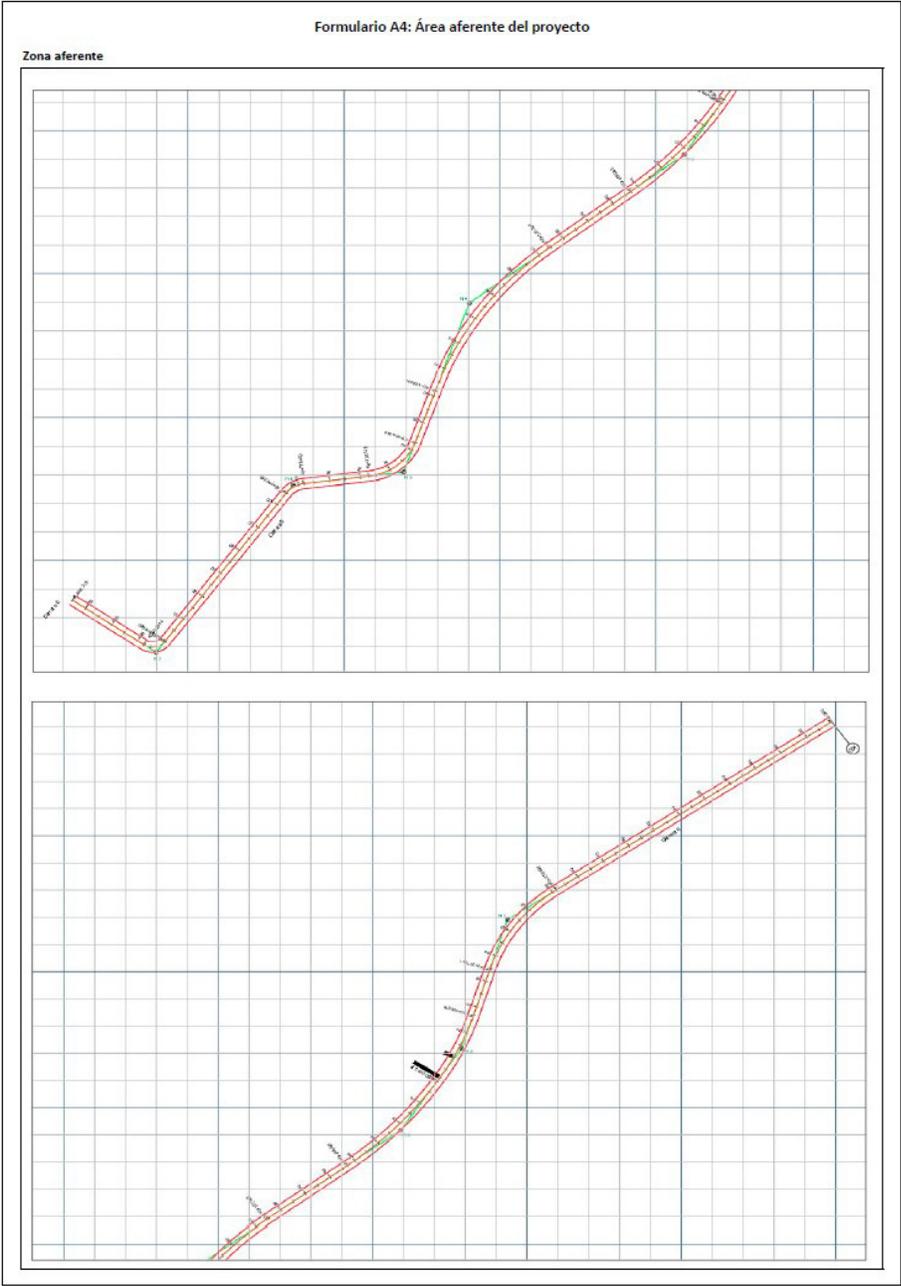
Se recomienda pasar a la siguiente fase de estudios y diseños, para determinar si es factible la construcción de reductores de velocidad.

Fuente: Propia

El funcionario que revisa la solicitud corrobora la información que expresa el grupo de usuarios, ello conlleva a que sea revisado por el especialista o grupo de especialistas para evaluar la solicitud.

El grupo de especialistas ha determinado se debe avanzar a la siguiente etapa de estudios y diseños, en la Figura 24, se presenta la zona aferente determinada por el grupo de especialistas:

Figura 24: Formulario A4: Área aferente Pisojé



Fuente: Propia

3.1.2. Desarrollo de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales

A continuación, en la Figura 20 se desarrollará la guía en el ejemplo práctico de la zona rural sector vereda Pisojé:

Tabla 21: Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad

Formulario A6: Estudios para diseñar y aprobar un reductor de velocidad.		
Estudio de Tránsito.	Estudio de volúmenes y composición vehicular.	Análisis y selección del vehículo tipo.
	Conflicto de tráfico multimodal.	Análisis peatones, bicicletas y motorizados.
	Estudio de volúmenes de peatones.	Análisis conflictos peatonales.
	Estudio de velocidades.	Análisis con respecto al tipo de vía y el uso del suelo.
	Análisis de siniestralidad.	Si hay casos, la decisión debe ser inmediata.
	Definir si la calles es una ruta de emergencia.	Análisis conflicto dispositivo vs emergencia.
	Censo de edificios públicos.	Evaluar rutas de comportamiento peatonal.
Diseño Geométrico.	Desvío de tráfico.	Análisis de acceso a puentes, giros y cruces conflictivos.
	Diseño geométrico de la calle.	Análisis diseño en planta.
		Análisis diseño en perfil.
	Diseño geométrico del dispositivo.	Análisis sección transversal.
		Reductor de velocidad tipo Circular.
		Reductor de velocidad tipo Trapezoidal.
		Reductor de velocidad provisional tipo tope.
Limitaciones.	Vías colectoras y arterias principales.	
Seguridad Vial.	Siniestralidad.	Porcentaje de vehículos pesados mayor del 5 %
	Señalización.	Análisis siniestralidad.
		Análisis parqueo y prohibido parquear.
Revisión paisajística.	Revisión paisajista.	Conflicto Paraderos.
	Urbanismo táctico.	Implementar señalización. Reductor de velocidad y señales transición de velocidad máxima de cada tramo
Diseño Hidráulico	Hidroplaneo	Espacio público.
	Diseño de estructuras hidráulicas	Evaluar si es provisional o definitivo.
Diseño de Pavimentos.	Estructura de Pavimento.	Análisis de seguridad.
		Análisis del sistema vs seguridad vial.
		Espesor de la zona del reductor.
		Espesor de la zona de transición del pavimento al reductor.

Fuente: Propia

3.1.2.1. Estudio de Tránsito

3.1.2.1.1. Estudio de volúmenes y composición vehicular Con el fin de conocer el comportamiento del tránsito, si bien se hace necesario como mínimo tres días consecutivos de conteo de vehículos, para este caso académico se tomó en días distinto durante 15 minutos con el fin de proyectar el tránsito tomando los datos por 12 horas de circulación el vía. De esta forma se obtuvo los siguientes resultados:

El día viernes 20 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 22: Datos de tránsito octubre 20 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 hora	TPD proyectado
Motocicleta	131	524	6.288
Automóvil	119	476	5.712
Buses	6	24	288
Camiones	5	20	240
Volquetas	2	8	96
Bicicletas	5	20	240
Peatones	16	64	768

Fuente: Propia

El día sábado 21 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 23: Datos de tránsito octubre 21 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 hora	TPD proyectado
Motocicleta	19	76	912
Automóvil	13	52	624
Buses	2	8	96
Camiones	2	8	96
Volquetas	1	4	48
Bicicletas	3	12	144
Peatones	5	20	300

Fuente: Propia

El día domingo 22 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 24: Datos de tránsito octubre 22 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 hora	TPD proyectado
Motocicleta	85	340	4.080
Automóvil	69	276	3.312
Buses	4	16	192
Camiones	1	4	48
Volquetas	0	0	0
Bicicletas	11	44	528
Peatones	21	84	1.008

Fuente: Propia

El día lunes 23 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 25: Datos de tránsito octubre 22 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 hora	TPD proyectado
Motocicleta	53	212	2.544
Automóvil	46	184	2.208
Buses	4	16	192
Camiones	4	16	192
Volquetas	2	8	96
Bicicletas	9	36	432
Peatones	11	44	528

Fuente: Propia

Dado lo anterior se puede conocer la caracterización del tránsito, siendo el vehículo de mayor circulación la motocicleta y de segundo el automóvil, quien se convierte en el vehículo característico.

3.1.2.1.2. Conflicto de tráfico multimodal Desde el punto de vista de seguridad vial los vehículos con mayor conflicto son los camiones y volquetas, los buses transitan a baja velocidad dado que en este sector el transporte de bus es alto.

La Tabla 26 es el resultado de la actividad de tomar una muestra representativa durante 7 días consecutivos y evaluar el día más crítico, de ello se cuenta con el siguiente flujo de peatones y de vehículos por hora:

3.1.2.1.3. Estudio de volúmenes de peatones

Tabla 26: Ejemplo Pisojé PV^2

Horario	Peatones (p)	Vehículos (v)	PV^2	Valores más significativos
09:00 - 10:00	64	1.052	0.708×10^8	X
10:00 - 11:00	20	148	0.044×10^8	
11:00 - 12:00	84	636	0.340×10^8	
14:00 - 15:00	44	436	0.084×10^8	

Fuente: Propia

Como se puede apreciar se toman los cuatro (4) valores más significativos, de los seis (6) valores más representativos de los flujos evaluados de la vía correspondiente.

A continuación se determina el valor PV^2 :

$$P = \frac{\sum p_i}{4} = \frac{64 + 20 + 84 + 44}{4} = \frac{212}{4} = 53,00$$

$$P = 53,00$$

$$V = \frac{\sum v_i}{4} = \frac{1,052 + 148 + 636 + 436}{4} = \frac{2,272}{4} = 568$$

$$V = 111$$

$$PV^2 = 53,00 \times 568,00^2 = 0,171 \times 10^8$$

$$PV^2 = 0,171 \times 10^8$$

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

Tabla 27: 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: 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.

En este ejemplo no hay conflicto vehículo - peatón, lo que nos muestra claramente la falta de programas de educación vial y de convivencia.

Para este caso en específico es recomendable realizar campañas de seguridad vial, mejorar la señalización y generar control pedagógico.

En el caso del conflicto de la bicicleta y peatón proviene de la falta de andenes o un corredor peatonal, ya que la invasión de los peatones de la ciclovía es una realidad.

3.1.2.1.4. Estudio de velocidades La velocidad promedio del sector es de 40 km/h, aunque es la promedio esperada en una vía de este tipo, se espera que los vehículos circulen a 30km/h, por lo tanto, es viable la instalación del dispositivo.

3.1.2.1.5. Análisis de siniestralidad En el sector no se cuenta con siniestralidad en los datos de la Secretaría de Tránsito.

3.1.2.1.6. Análisis ruta de emergencia El sector no es una ruta de emergencia, en el caso de contar con alto tráfico en la carrera 9, se ven vehículos de emergencia por el sector, en los cuatro días de conteo se observó 1 vehículo de emergencia.

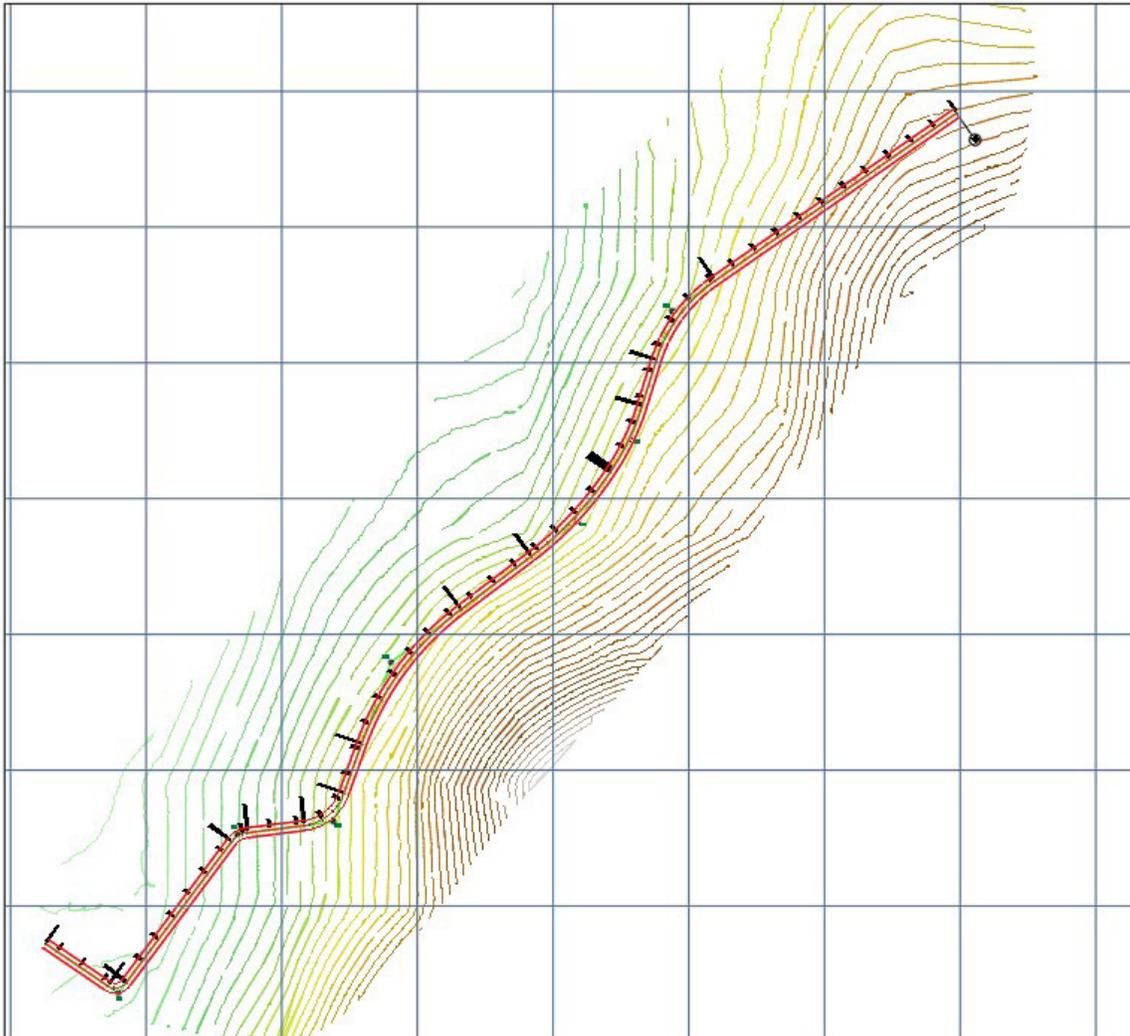
3.1.2.1.7. Censo de edificios públicos El sector no cuenta con edificaciones públicas, sin embargo, desde el punto de vista institucional cuenta con dos universidades, un centro recreativo, una cancha de microfútbol particular, tres restaurantes, dos colegios cercanos a la zona de influencia.

3.1.2.1.8. Desvío de tráfico En este instante esta vía forma parte de la zona de desvío de tráfico de la carrera 9, dado que en horas picos se emplea con el fin de llegar a la zona norte de Popayán.

3.1.2.2. Diseño geométrico

3.1.2.2.1. Diseño geométrico de la calle Para este ejercicio académico se obtuvo la topografía por medio de Google Earth, siendo datos aproximados, pero sirven para realizar el diseño geométrico en planta y en perfil, como ejercicio académico.

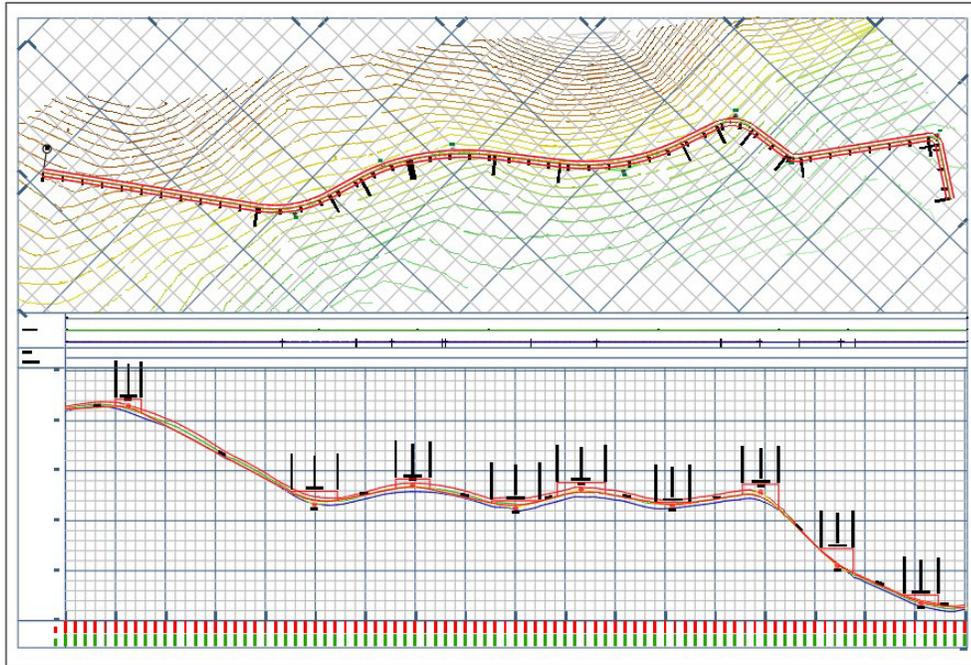
Figura 25: Topografía vereda Pisojé



Fuente: Propia

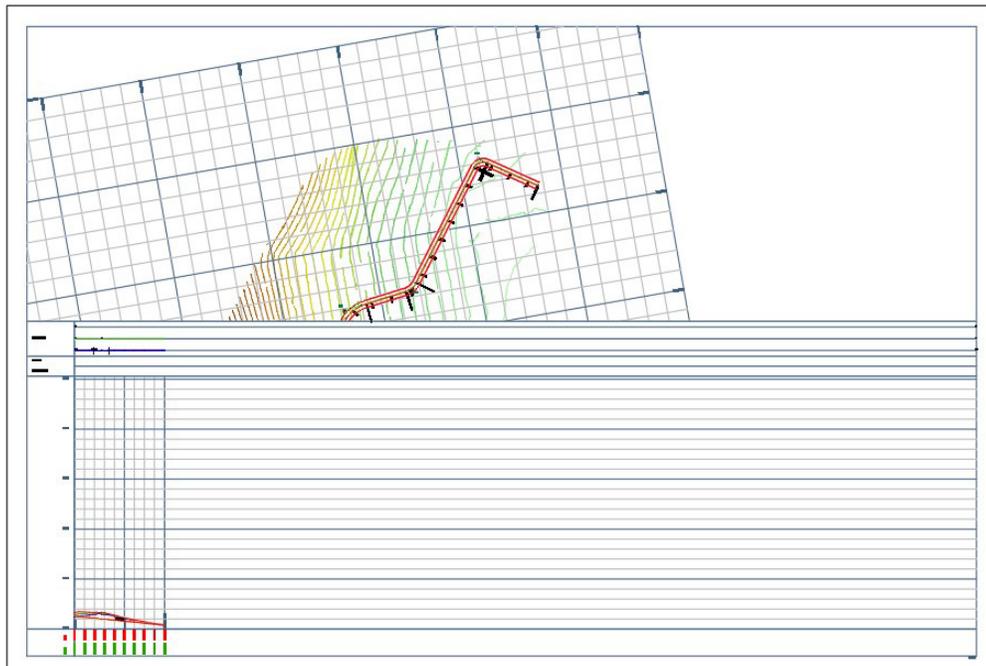
Empleando el recurso computacional Topo 3 se obtiene el siguiente diseño geométrico:

Figura 26: Diseño Geométrico Plancha 1



Fuente: Propia

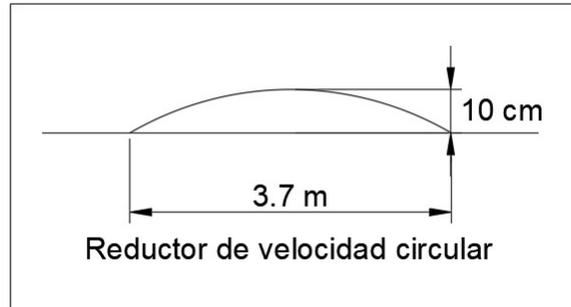
Figura 27: Diseño Geométrico Plancha 2



Fuente: Propia

3.1.2.2.2. Diseño geométrico del dispositivo En el PR 0+500 existe una zona recta de 350 metros, en donde se puede implementar un reductor circular.

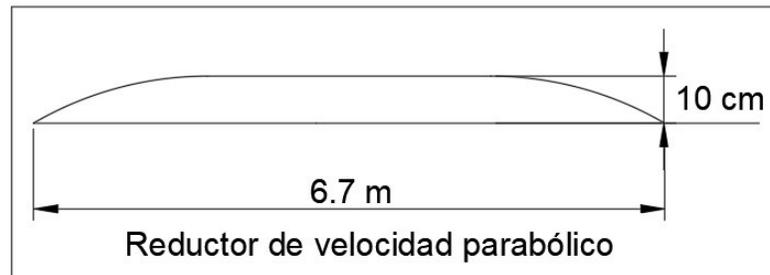
Figura 28: Diseño geométrico dispositivo circular



Fuente: Propia

En el PR 0+660 existe una zona recta de 20 metros, en donde se puede implementar un reductor parabólico, debido al tráfico de volquetas por ese tramo.

Figura 29: Diseño geométrico dispositivo parabólico



Fuente: Propia

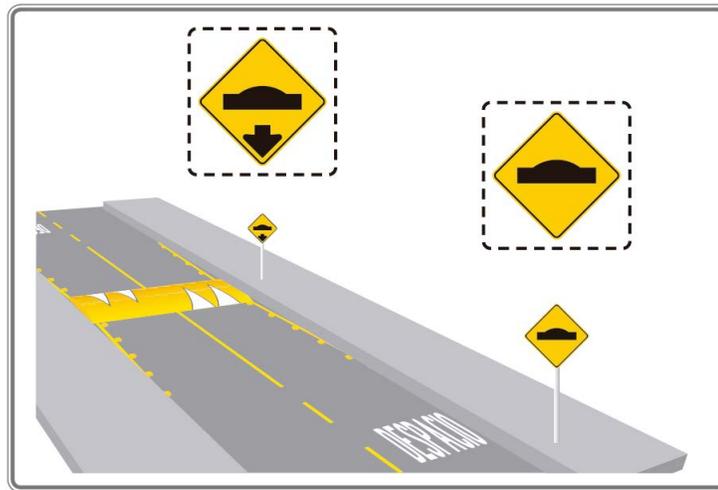
3.1.2.2.3. Limitaciones En el tramo estudiado no hay limitaciones, pero dado el volumen de volquetas que circulan en la vía el dispositivo recomendado en el barrio Guayacanes debe ser el reductor de velocidad parabólico, ya que la distancia entre ejes de las volquetas y buses necesitan una mejor transición siendo efectiva la disminución de la velocidad.

3.1.2.3. Seguridad vial

3.1.2.3.1. Análisis de siniestralidad En el sector no se cuenta con siniestralidad en los datos de la Secretaría de Tránsito.

3.1.2.3.2. Señalización Adoptaremos la señalización del Manual de señalización vigente.

Figura 30: Modelo Señalización Adoptado



Fuente: (Manual Señalización INVIAS, 2015)

3.1.2.4. Urbanismo táctico

3.1.2.4.1. Revisión paisajista En el momento de la aplicación no se cuenta con un manual o guía de urbanismo táctico que podamos implementar para este ejercicio.

Sin embargo, el análisis se debe realizar teniendo en cuenta que el proyecto de forma integral debe contar con andenes tanto en la zona residencial, como en la zona de la ciclovía y dado el número de peatones son anchos que no superan los 2 metros. Se debe tener en cuenta la circulación de personas con movilidad reducida.

Teniendo en cuenta lo anterior, para este ejercicio académico no se presentará una propuesta arquitectónica, ni de urbanismo táctico.

3.1.2.5. Diseño Hidráulico

3.1.2.5.1. Hidroplaneo Empleando el método de Gallaway, encontramos los valores previstos del espesor de la película de agua y la velocidad de inicio del hidroplaneo. La velocidad máxima de la vía es de 30 km/h.

$$PMT = 0,5mm$$

$$I = 100mm/h$$

$$L_R = 12,63m$$

$$S_R = 0,0223m/m$$

$$SD = 10\%$$

$$TD = 0,5mm$$

$$P = 165kPa$$

$$n = 0,045$$

Utilizamos la siguiente ecuación:

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

Reemplazamos los valores y obtenemos lo siguiente:

$$H = 0,01485 \left(\frac{0,5^{0,11} * 12,63^{0,43} * 100^{0,59}}{0,0223^{0,42}} \right) - 0,5 = 2,56mm$$

Luego,

$$A = \frac{12,639}{H^{0,06}} + 3,5 = \frac{12,639}{2,56^{0,06}} + 3,5 = 15,45$$

$$A = \left(\frac{22,351}{H^{0,06}} - 4,97 \right) * PMT^{0,14} = \left(\frac{22,351}{2,56^{0,06}} - 4,97 \right) * PMT^{0,14} = 14,66$$

Se toma el mayor valor para este caso $A = 15.45$.

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

Reemplazando los valores obtenemos lo siguiente:

$$V_H = 0,9143 * 10^{0,04} * 165^{0,3} * (0,5 + 0,794)^{0,06} * 15,45$$

$$V_H = 72,8km/h$$

Debido a que la vía es rural, la velocidad máxima es 30 km/h. Por lo tanto, la vía no presentaría problemas de hidroplaneo.

A continuación se realizará el cálculo del tiempo de concentración del agua en una trayectoria de flujo:

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

$$T_C = \frac{6,99 * 12,63^{0,6} * 0,045^{0,6}}{100^{0,4} * 0,0223^{0,3}} = 2,47minutos$$

$$T_C = 2,47minutos$$

De esta forma se puede concluir que, la opción más crítica sería el resultado de una lluvia de 2.47 minutos a partir de una velocidad de 72,8 km/h, se presentaría hidroplaneo.

Para nuestro caso en específico la posibilidad de hidroplaneo es mínima, es necesario diseñar las estructuras hidráulicas que permitan la evacuación de las aguas lluvias sin inconvenientes.

3.1.2.5.2. Diseño de estructuras hidráulicas En este sector la Alcaldía de Popayán no cuenta con colectores pluviales, ni tampoco existen estructuras hidráulicas públicas que permitan la evacuación de las aguas lluvias, por lo tanto, en el presente documento no fue factible desarrollar los diseños de las estructuras de captación.

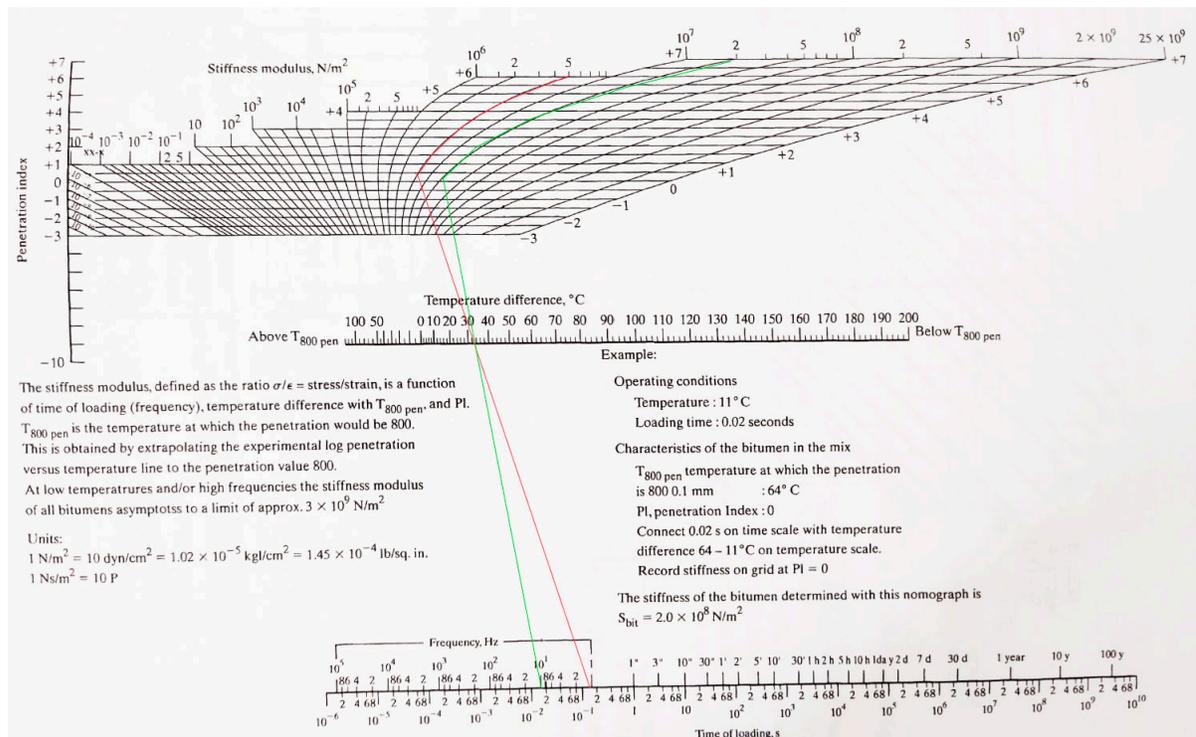
En el Barrio Mora Verde encontramos un colector de aguas lluvias de 24", siendo el único colector público disponible, ya que el barrio Guayacanes del río cuenta con colectores de 10z 12", diseñados sólo para transportar el aguas de calles y techos del barrio.

El anterior panorama no es alentador y sólo existe como solución construir al menos dos colectores de 36", experiencia que se aprecia en uno de los sectores entre la Vereda Gonzales y La Paz, que mitigó dicho impacto.

En conclusión, no es posible diseñar la solución, ni las estructuras hidráulicas, debido a que se sale del alcance del trabajo de grado propuesto.

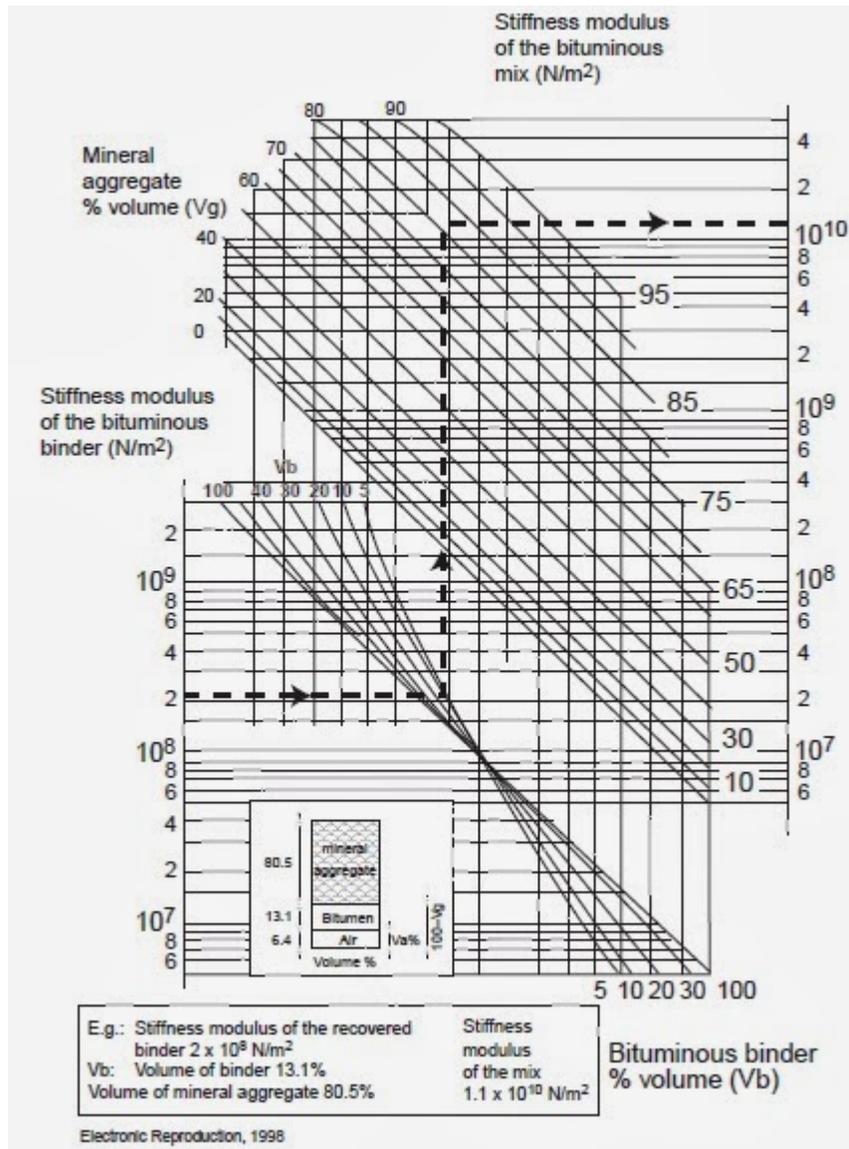
3.1.2.6. Diseño de pavimentos A continuación se desarrolla la metodología de diseño de pavimentos. Primero se calcula el módulo de la mezcla asfáltica:

Figura 31: Nomograma de Van der Poel. Pisojé



Fuente: Van der Poel

Figura 32: Nomograma Smix. Pisojé



Fuente: Nomograma Smix

$$\Delta T_{[^\circ C]} = T_{800[^\circ C]} - T_{mix[^\circ C]}$$

$$\Delta T_{[^\circ C]} = 52_{[^\circ C]} - 19_{[^\circ C]} = 33_{[^\circ C]}$$

$$T_{MIX} = 19,7[^\circ C]$$

Frecuencia = 1.02 Hz para 5 km/h; 10 Hz para 60 km/h

IP = 0.3

$$S_{b1Hz} = 5x10^6 N/m^2$$

$$S_{b10Hz} = 2x10^7 N/m^2$$

Con los siguientes parámetros ingresamos a la Figura 32:

$$\%V_b = 10,8 \%$$

$$\%V_g = 85,2 \%$$

$$S_{mix1Hz} = 5x10^8 N/m^2 = 71,117 = 500MPa$$

$$S_{mix10Hz} = 3x10^9 N/m^2 = 426,700 = 3,000MPa$$

Dado que el diseño de pavimentos debe diseñarse teniendo en cuenta la velocidad a que se quiere llegar atravesando el dispositivo, que para este caso se empleará una frecuencia de 1 Hz, equivalente a una velocidad de 5 km/h:

$$a_1 = 0,0052 * (M_{MIX})^{0,555} = 0,0052 * 500^{0,555} = 0,16$$

$$a_2 = 0,249 * \log(M_{RBASE}) - 0,977 = 0,249 * \log(28,000) - 0,977 = 0,13$$

$$a_3 = 0,227 * \log(M_{RSUBBASE}) - 0,839 = 0,227 * \log(15,000) - 0,839 = 0,11$$

Contamos con los siguientes parámetros de diseño:

$$Z_R = -1,037(85 \%)$$

Tabla 28: Desviación Normal Estándar Z_R . Pisojé

Confiabilidad (%)	Z_R
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282

Fuente: AASHTO

$$S_o = 0,45$$

$$\Delta PSI = 4,2(P_0) - 2,0(P_t) = 2,2$$

Tabla 29: Error normal combinado para pavimentos flexibles S_o . Pisojé

Proyecto de Pavimento	Desviación Estándar S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
Construcción nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

Fuente: AASHTO

Tabla 30: Servicialidad Inicial P_0 . Pisojé

Tipo Pavimento (%)	Servicialidad Inicial P_0
Concreto Hidráulico	4.5
Concreto Asfáltico	4.2

Fuente: AASHTO

Tabla 31: Servicialidad Final P_t . Pisojé.

Tipo de Vía (%)	Servicialidad Final P_t
Carreteras	2.0 - 2.5
Autopista	2.5 - 3.0
Urbana	1.5 - 2.0

Fuente: AASHTO

$W_{18} = 50,000$ ejes simplesequivalentesde8,2toneladas

$M_{R_{SUBRASANTE}} = 9,669 PSI$

$M_{R_{SUBBASE}} = 15,000 PSI$

$M_{R_{BASE}} = 28,000 PSI$

$M_{R_{MIXASFALTICA}} = 72,250 PSI = 500 MPa$

$m_1 = m_2 = m_3 = 1$

El coeficiente de drenaje m , se obtiene de la Tabla 32 y 33.

Tabla 32: Calidad del drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo que drena el agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	No evacua

Fuente: AASHTO

Tabla 33: Valores de m, recomendados para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares. Pisojé

Calidad del Drenaje	Porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Más de 25 %
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.30 - 1.15	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: AASHTO

$$SN_1 = 0,82; a_1 = 0,16; m_1 = 1,00$$

$$SN_2 = 1,12; a_2 = 0,13; m_2 = 1,00$$

$$SN_3 = 1,37; a_3 = 0,11; m_3 = 1,00$$

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \geq \frac{0,82}{0,16} \geq 5,125 \text{ pulgadas} \geq 13 \text{ centímetros}$$

$$SN_{1(REAL)} = a_1 * D_1 \geq SN_1 = 0,16 * 5,125 = 0,82 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_{1(REAL)}}{a_2 * m_2} \geq \frac{1,12 - 0,82}{0,13 * 1} \geq 2,31 \text{ pulgadas} \geq 6 \text{ centímetros}$$

$$SN_{2REAL} = SN_{1(REAL)} + a_2 * D_2 * m_2 \geq SN_2 = 0,82 + 0,13 * 7,87 * 1 = 1,84$$

No necesita subbase, por lo tanto, termina el diseño aquí.

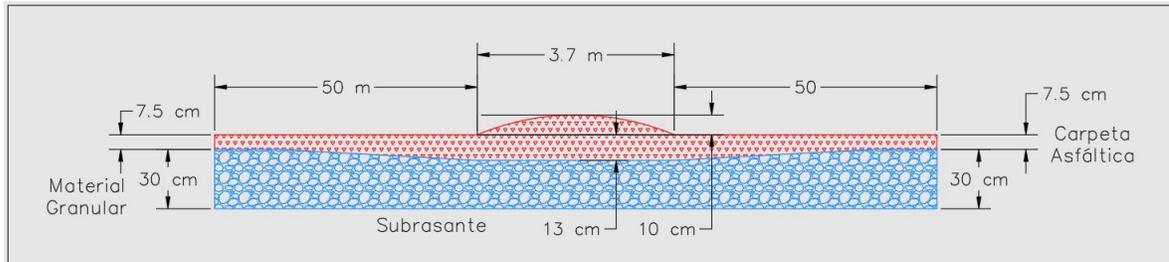
$$SN_{3REAL} \geq SN_3 = 1,84 \geq 1,37$$

En las Figuras 33 y 34, se muestra el plano constructivo en donde se logra concluir lo siguiente:

- El pavimento existente en la vía es de 7.5 cm con 30 cm de estructura granular (base y subbase).
- El frenado y la aceleración en un tramo de 30 metros genera una transición en el espesor del pavimento, aumentando el espesor de la carpeta asfáltica de 7.5 cm de la estructura existente a 13 cm en la zona del dispositivo.
- El reductor seleccionado obedece a un caso de velocidades medias en una zona rural y residencial, por lo tanto, se hace necesario proteger a la comunidad generando una disminución. Las medidas son las siguientes:

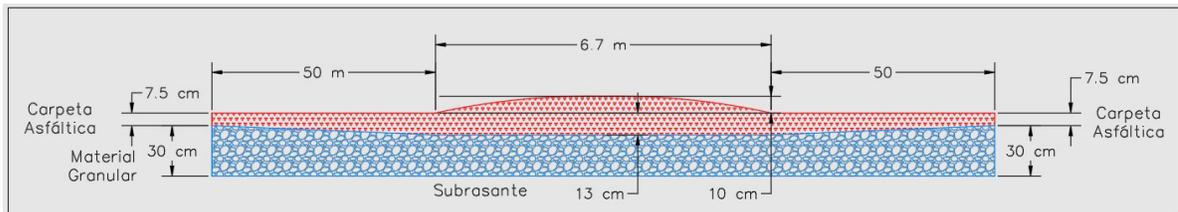
- Altura 10 centímetros.
 - Longitud 3.7 metros para el reductor de velocidad circular en el PR 00+500. (Ver Figura 33)
 - Longitud 6.7 metros para el reductor de velocidad parabólico en el PR 00+660. (Ver Figura 34)
 - Ancho de la vía, es la correspondiente al ancho existente, no fue modificada la geometría.
- La transición de los materiales granulares corresponde a continuar conservando el nivel en la subrasante de la estructura existente, aproximadamente 25 cm, aunque en el diseño se llega a que el material granular es de 20 cm, constructivamente es más fácil desarrollar el proyecto sin muchos cambios.

Figura 33: Plano constructivo reductor de velocidad circular en perfil del pavimento. Pisojé



Fuente: Propia

Figura 34: Plano constructivo reductor de velocidad parabólico en perfil del pavimento. Pisojé



Fuente: Propia

3.2. Sector urbano La Aldea

3.2.1. Proceso de solicitud del dispositivo por parte de la comunidad

El segundo trabajo práctico corresponde al barrio La Aldea, en donde la comunidad se encuentra solicitando la instalación de reductores de velocidad. Este sector se encuentra priorizado por la Secretaría de Tránsito de Popayán, como un lugar para evaluar la seguridad vial.

A continuación en la Figura 35, se presenta la solicitud de la comunidad:

Figura 35: Solicitud barrio La Aldea

Formulario A1: Solicitud de Implementación de un Reductor Tipo Parabólico o Circular	
Información de quien realiza la solicitud	
Nombre: <u>FABIÁN ANDRÉS RUIZ SOLARTE</u>	Ciudad: <u>POPAYÁN</u>
Dirección: <u>VEREDA PISOJÉ</u>	Barrio: <u>QUINTAS DE JOSÉ MIGUEL</u>
Comuna: <u>DOS</u>	Sector: <u>ENTRADA POPAYÁN - ZONA NORTE</u>
Información del Representante de la comunidad:	
Dirección: <u>CARRERA 5A # 58N - 15. CASA E10.</u>	Barrio: <u>QUINTAS DE JOSE MIGUEL</u>
Teléfono1: <u>3186164827</u>	Teléfono1: _____
Información de la vía:	
Vía urbana <input checked="" type="checkbox"/> Vía rural <input type="checkbox"/> Residencial <input checked="" type="checkbox"/> Vía Comercial <input type="checkbox"/> Un carril <input type="checkbox"/> Dos carriles <input checked="" type="checkbox"/> Zona semaforizada <input type="checkbox"/> Ciclovías <input type="checkbox"/>	
Demarcación deficiente <input checked="" type="checkbox"/> Señalización deficiente <input checked="" type="checkbox"/> Zona recreacional <input type="checkbox"/> Zona universitaria o escolar <input checked="" type="checkbox"/> Restaurantes, hoteles o bares <input type="checkbox"/>	
Centros médicos <input type="checkbox"/> Empresas de servicios públicos <input type="checkbox"/> Andenes <input checked="" type="checkbox"/> Pasos peatonales <input type="checkbox"/> Puentes peatonales <input type="checkbox"/> Motovía <input type="checkbox"/>	
Zona de conflictos peatones, bicicletas, motocicletas y automotores <input checked="" type="checkbox"/> Esta vía es ruta de vehículos de emergencia <input type="checkbox"/> Vías compartidas <input checked="" type="checkbox"/>	
Iluminación deficiente <input checked="" type="checkbox"/> Mal estado del pavimento <input checked="" type="checkbox"/> Intersecciones semaforizadas <input type="checkbox"/> Transporte público Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	
La solicitud fue socializada con la comunidad Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Anexa firmas de respaldo de la solicitud Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	
Descripción del Problema:	
La calle 58 norte en este instante es la única vía de ingreso al barrio La Aldea y sus alrededores, dado que el tráfico es muy bajo en la actualidad, se cuenta como zona de recreación dado que los habitantes la toman como corredor para practicar atletismo, ciclismo y caminar. Como el tráfico es bajo los vehículos transitan a una velocidad alta (cercana a 60 km/h), ello dado al estado de la vía genera ruido e insuguridad con los habitantes.	
Requerimiento para la solución del problema:	
La comunidad solicita pavimentar la vía e instalar reductores de velocidad con el fin de evitar futuros accidentes.	

Fuente: Propia

Esta zona presenta conflictos entre usuarios de la vía, la anterior ola invernal mostró deficiencias en el sistema de recolección y transporte de aguas lluvias, no hay cicloruta

lo cual conlleva a conflicto entre peatones y bicicletas, dado que la infraestructura de andenes es deficiente.

A continuación en la Figura 36, se presenta la evaluación por parte de quien toma la solicitud:

Figura 36: Elegibilidad barrio La Aldea

Formulario A2. Evaluación de la solicitud

Clasificación del proyecto

Vía urbana Vía rural

Residencial Vía Comercial Una calzada Dos calzadas Un carril Dos carriles

Conflicto por ser zona de desvío Zona de PMT Obras cercanas

Zona semaforizada

Velocidad de la vía según su jerarquía: Residencial Velocidad de operación (V_{85}): 40 km/h

Volumen de tráfico: TPD menor de 500

Siniestralidad

Establecimientos cercanos:

Entidades educativas Centros médicos Empresas de servicios públicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares

Espacio público:

Andenes Pasos peatonales Ciclovías Vías compartidas

Dispositivos de tránsito Motovía Intersecciones semaforizadas Puentes peatonales

Transporte público Si No

Número de predios en la zona a estudiar:

Número de viviendas 650 Número locales comerciales 2

Objetivos a tener en cuenta en el diseño del dispositivo

Reducción de velocidad

Reducir la infiltración del tráfico al sector

Reducir el tráfico que ingresa de forma directa al sector (comercio - centros educativos)

Observaciones:

La vía comunica la carrera 9 con la variante, a pesar de que su estado es sin pavimentar en algunos sectores, se espera sea construida en doble calzada como se encuentra en el esquema vial de la ciudad, ya que se convertiría en colector, actualmente la velocidad es cercana a 30km/h dado su estado, pero la velocidad esperada sería cercana a 60 km/h dada la vocación de colector.

Si bien en la actualidad el tráfico es liviano, la proyección de uno o varios reductores de velocidad se debe estudiar con el fin de evitar accidentalidad en el sector.

En el sector encontramos universidades (1), no se cuenta con pasos peatonales, señalización deficiente, iluminación deficiente y poca seguridad.

Se comparte lo expuesto en el formulario de elegibilidad: Existe conflicto multimodal, automóviles, motocicletas, bicicletas y peatones, circulan en espacios compartidos.

Se recomienda pasar a la siguiente fase de estudios y diseños, para determinar si es factible la construcción de reductores de velocidad.

Fuente: Propia

A continuación en la Figura 37, se presenta la elegibilidad por parte de quien toma la solicitud:

Figura 37: Elegibilidad barrio La Aldea

Formulario A3: Verificación de la Elegibilidad

Características de la vía

Vía rural

Primaria de dos calzadas Primaria de una calzada Secundaria Terciaria

Vía urbana

Arteria principal Arteria secundaria Colectora Marginal Paisajística Local Semipeatonal

Una calzada Doble calzada Un carril Dos carriles

Residencial Zona comercial Entidades educativas Centros médicos Zona recreacional

Restaurantes, hoteles o bares Empresas de servicios públicos

Velocidad de la vía según su jerarquía: 30 km/h - 50 km/h Velocidad de operación (V_{as}): 40 km/h

Volumen de tráfico: TPD menor de 500

Siniestralidad

Vía que lleva a un sector residencial o vía colectora Zona de desvío Obra cercana

Vía con bajo volumen de tráfico (Vía fluida) Vía con problemas de capacidad vial

Ruta donde circulan vehículos de emergencias Si No

Proceso de socialización con la comunidad

Hay observaciones del grupo de emergencias Si No Cuál? _____

El reductor de velocidad se encuentra en alguna de las limitaciones? Si No Cuál? _____

Número de viviendas 650 Número locales comerciales 2

Se ha detallado la zona aferente? Si No

Anexa firmas de respaldo de la solicitud Si No

Socialización Si No Votación? Si No Porcentaje a favor: _____

Se levantó acta? Si No Se anexa copia? Si No Número de participantes de la socialización _____

Se encuentra priorizada la vía para construir un reductor de velocidad? Si No

Observaciones:

La vía comunica la carrera 9 con la variante, a pesar de que su estado es sin pavimentar en algunos sectores, se espera sea construida en doble calzada como se encuentra en el esquema vial de la ciudad, ya que se convertiría en colectora, actualmente la velocidad es cercana a 30km/h dado su estado, pero la velocidad esperada sería cercana a 60 km/h dada la vocación de colectora.

Si bien en la actualidad el tráfico es liviano, la proyección de uno o varios reductores de velocidad se debe estudiar con el fin de evitar accidentalidad en el sector.

En el sector encontramos universidades (1), no se cuenta con pasos peatonales, señalización deficiente, iluminación deficiente y poca seguridad.

Se comparte lo expuesto en el formulario de elegibilidad: Existe conflicto multimodal, automóviles, motocicletas, bicicletas y peatones, circulan en espacios compartidos.

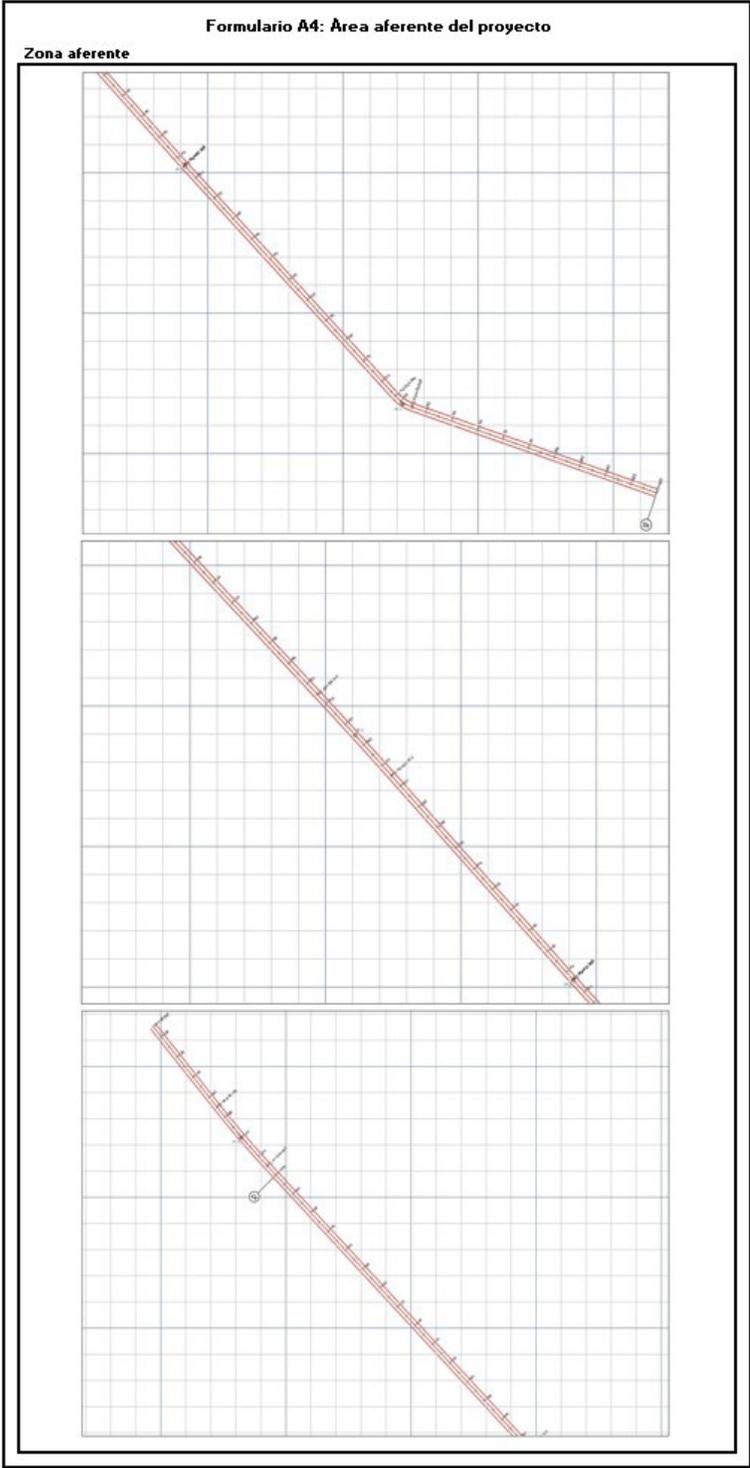
Se recomienda pasar a la siguiente fase de estudios y diseños, para determinar si es factible la construcción de reductores de velocidad.

Fuente: Propia

El funcionario que revisa la solicitud corrobora la información que expresa el grupo de usuarios, ello conlleva a que sea revisado por el especialista o grupo de especialistas para evaluar la solicitud.

El grupo de especialistas ha determinado se debe avanzar a la siguiente etapa de estudios y diseños, en la Figura 38, se presenta la zona aferente determinada por el grupo de especialistas:

Figura 38: Area aferente La Aldea



Fuente: Propia

3.2.2. Desarrollo de la Guía para implementar reductores de velocidad en vías urbanas y rurales

A continuación, en la Figura 34 se desarrollará la guía en el ejemplo práctico de la zona urbana del barrio La Aldea (de forma resumida dado que el contenido es similar al caso anterior):

Tabla 34: Formulario A6: Desarrollo de diseños, actividades y análisis para aprobar un reductor de velocidad

Formulario A6: Estudios para diseñar y aprobar un reductor de velocidad.		
Estudio de Tránsito.	Estudio de volúmenes y composición vehicular.	Análisis y selección del vehículo tipo.
	Conflicto de tráfico multimodal.	Análisis peatones, bicicletas y motorizados.
	Estudio de volúmenes de peatones.	Análisis conflictos peatonales.
	Estudio de velocidades.	Análisis con respecto al tipo de vía y el uso del suelo.
	Análisis de siniestralidad.	Si hay casos, la decisión debe ser inmediata.
	Definir si la calles es una ruta de emergencia.	Análisis conflicto dispositivo vs emergencia.
	Censo de edificios públicos.	Evaluar rutas de comportamiento peatonal.
	Desvío de tráfico.	Análisis de acceso a puentes, giros y cruces conflictivos.
Diseño Geométrico.	Diseño geométrico de la calle.	Análisis diseño en planta.
		Análisis diseño en perfil.
	Diseño geométrico del dispositivo.	Análisis sección transversal.
		Reductor de velocidad tipo Circular.
		Reductor de velocidad tipo Trapezoidal.
		Reductor de velocidad provisional tipo tope.
Limitaciones.	Vías colectoras y arterias principales.	
Seguridad Vial.	Siniestralidad.	Porcentaje de vehículos pesados mayor del 5 %
	Señalización.	Análisis siniestralidad.
		Análisis parqueo y prohibido parquear.
		Conflicto Paraderos.
Implementar señalización. Reductor de velocidad y señales transición de velocidad máxima de cada tramo		
Revisión paisajística.	Revisión paisajista.	Espacio público.
	Urbanismo táctico.	Evaluar si es provisional o definitivo.
Diseño Hidráulico	Hidroplaneo	Análisis de seguridad.
	Diseño de estructuras hidráulicas	Análisis del sistema vs seguridad vial.
Diseño de Pavimentos.	Estructura de Pavimento.	Espesor de la zona del reductor.
		Espesor de la zona de transición del pavimento al reductor.

Fuente: Propia

3.2.2.1. Estudio de Tránsito

3.2.2.1.1. Estudio de volúmenes y composición vehicular Con el fin de conocer el comportamiento del tránsito, si bien se hace necesario como mínimo tres días consecutivos de conteo de vehículos, para este caso académico se tomó en días distinto durante 15 minutos con el fin de proyectar el tránsito tomando los datos por 12 horas de circulación el vía. De esta forma se obtuvo los siguientes resultados:

El día viernes 20 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 35: Datos de tránsito octubre 6 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 Hora	TPD proyectado
Motocicleta	71	284	3.408
Automóvil	69	275	3.312
Buses	0	0	0
Camiones	2	8	96
Volquetas	1	4	48
Bicicletas	15	60	720
Peatones	4	16	192

Fuente: Propia

El día sábado 7 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 36: Datos de tránsito octubre 7 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 Hora	TPD proyectado
Motocicleta	48	192	2.304
Automóvil	53	212	2.544
Buses	0	0	0
Camiones	0	0	0
Volquetas	0	0	0
Bicicletas	21	84	1.008
Peatones	5	20	240

Fuente: Propia

El día domingo 8 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 37: Datos de tránsito octubre 8 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 Hora	TPD proyectado
Motocicleta	25	100	1.200
Automóvil	21	84	1.008
Buses	0	0	0
Camiones	0	0	0
Volquetas	0	0	0
Bicicletas	32	128	1.536
Peatones	27	108	1.296

Fuente: Propia

El día lunes 9 de octubre se obtuvo la siguiente información:

Tabla 38: Datos de tránsito octubre 9 de 2023

Vehículo	Tránsito 15 minutos	Tránsito 1 Hora	TPD proyectado
Motocicleta	81	324	3.888
Automóvil	78	312	3.744
Buses	0	0	0
Camiones	1	4	48
Volquetas	0	0	0
Bicicletas	11	44	528
Peatones	5	20	240

Fuente: Propia

Dado lo anterior se puede conocer la caracterización del tránsito, siendo el vehículo de mayor circulación la motocicleta y en segundo el automóvil, quien se convierte en el vehículo característico.

3.2.2.1.2. Conflicto de tráfico multimodal Desde el punto de vista de seguridad vial los vehículos con mayor conflicto son los automóviles, bicicletas y peatones, porque circulan por la misma calzada.

La Tabla 39 es el resultado de la actividad de tomar una muestra representativa durante 7 días consecutivos y evaluar el día más crítico, de ello se cuenta con el siguiente flujo de peatones y de vehículos por hora:

3.2.2.1.3. Estudio de volúmenes de peatones

Tabla 39: Ejemplo Pisojé PV^2

Horario	Peatones (p)	Vehículos (v)	PV^2	Valores más significativos
09:00 - 10:00	16	572	0.052×10^8	
10:00 - 11:00	20	404	0.033×10^8	
11:00 - 12:00	108	184	0.036×10^8	
14:00 - 15:00	20	640	0.082×10^8	X

Fuente: Propia

Como se puede apreciar se toman los cuatro (4) valores más significativos, de los seis (6) valores más representativos de los flujos evaluados de la vía correspondiente.

A continuación se determina el valor PV^2 :

$$P = \frac{\sum p_i}{4} = \frac{16 + 20 + 108 + 20}{4} = \frac{164}{4} = 41,00$$

$$P = 41,00$$

$$V = \frac{\sum v_i}{4} = \frac{572 + 404 + 184 + 640}{4} = \frac{1800}{4} = 450,0$$

$$V = 450,0$$

$$PV^2 = 41,00 \times 450,0^2 = 0,083 \times 10^8$$

$$PV^2 = 0,0083 \times 10^8$$

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

Tabla 40: 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: 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.

En este ejemplo no hay conflicto vehículo - peatón, lo que nos muestra claramente la falta de programas de educación vial y de convivencia.

Para este caso en específico es recomendable realizar campañas de seguridad vial, mejorar la señalización y generar control pedagógico.

En el caso del conflicto de la bicicleta y peatón proviene de la falta de andenes y ciclo vía. Todos los actores circulan en la misma vía.

3.2.2.1.4. Estudio de velocidades La velocidad promedio del sector es de 30 km/h, se espera velocidades mayores una vez se cuente con una vía en buen estado, por lo tanto, es viable la instalación del dispositivo.

3.2.2.1.5. Análisis de siniestralidad En el sector no se cuenta con siniestralidad en los datos de la Secretaría de Tránsito.

3.2.2.1.6. Análisis ruta de emergencia El sector no es una ruta de emergencia, en el caso de contar con alto tráfico en la carrera 9 o la variante, se ven vehículos de emergencia por el sector, en los cuatro días de conteo no se observó algún vehículo de emergencia.

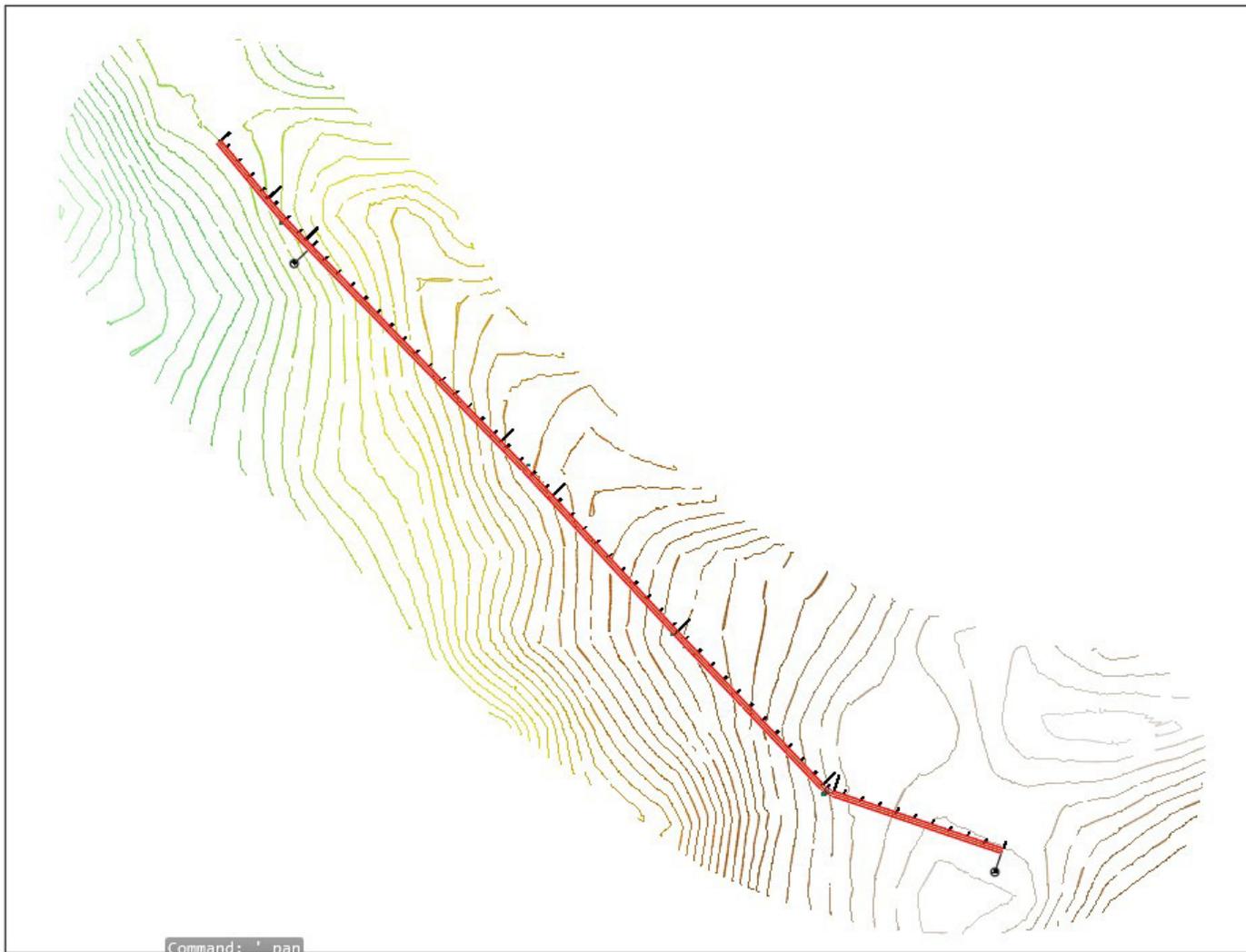
3.2.2.1.7. Censo de edificios públicos El sector no cuenta con edificaciones públicas, sin embargo, desde el punto de vista institucional cuenta con una universidad y conjuntos residenciales.

3.2.2.1.8. Desvío de tráfico En este instante esta vía forma parte de la zona de desvío de tráfico de la carrera 9 y de la variante.

3.2.2.2. Diseño geométrico

3.2.2.2.1. Diseño geométrico de la calle Para este ejercicio académico se obtuvo la topografía por medio de Google Earth, siendo datos aproximados, pero sirven para realizar el diseño geométrico en planta y en perfil, como ejercicio académico.

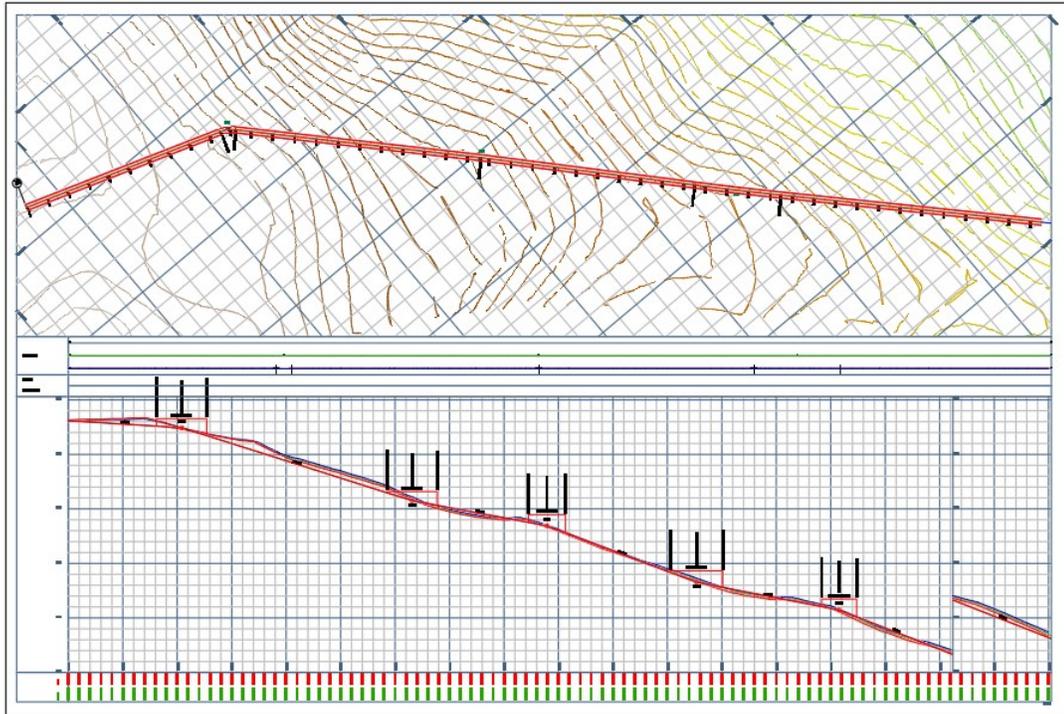
Figura 39: Topografía barrio La Aldea



Fuente: Propia

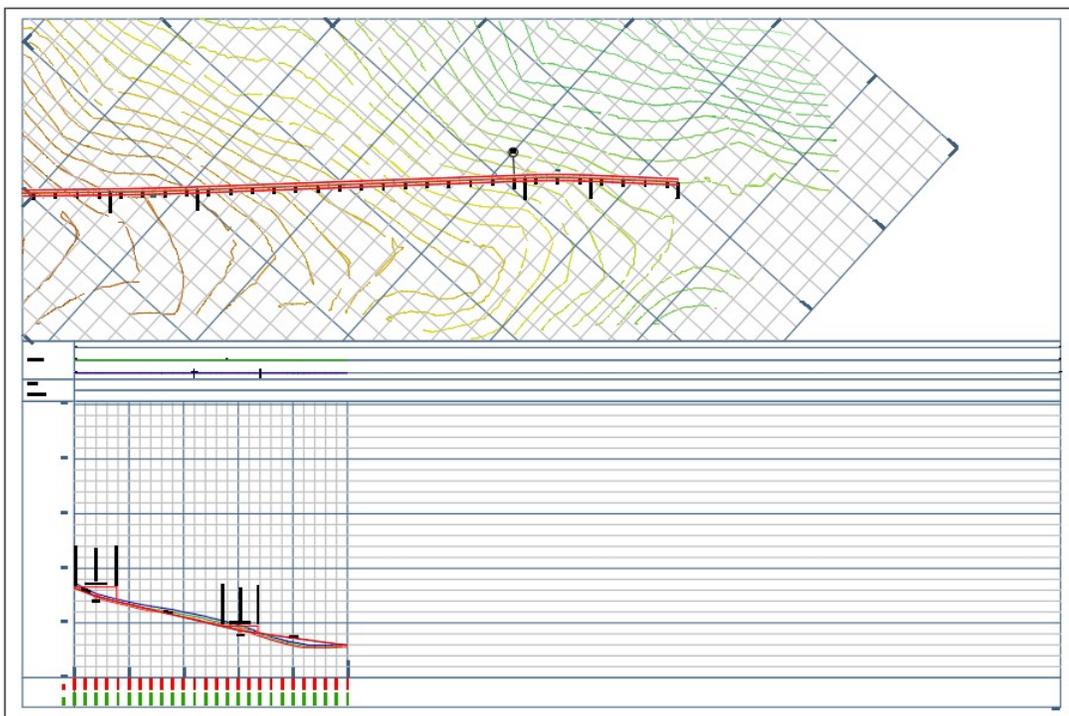
Empleando el recurso computacional Topo 3 se obtiene el siguiente diseño geométrico:

Figura 40: Diseño Geométrico Plancha 1 barrio La Aldea



Fuente: Propia

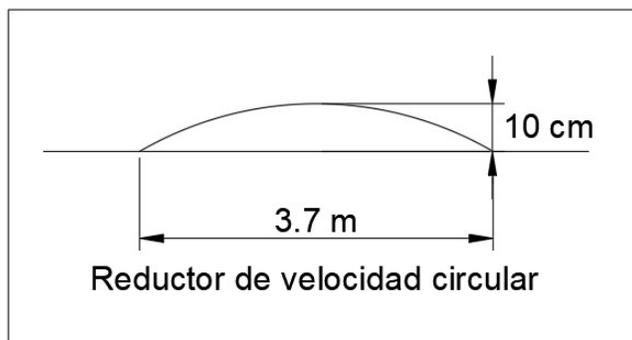
Figura 41: Diseño Geométrico Plancha 2 barrio La Aldea



Fuente: Propia

3.2.2.2. Diseño geométrico del dispositivo En el PR 00+340 y PR 00+700 zonas rectas, en donde se puede implementar un reductor circular.

Figura 42: Diseño geométrico dispositivo circular



Fuente: Propia

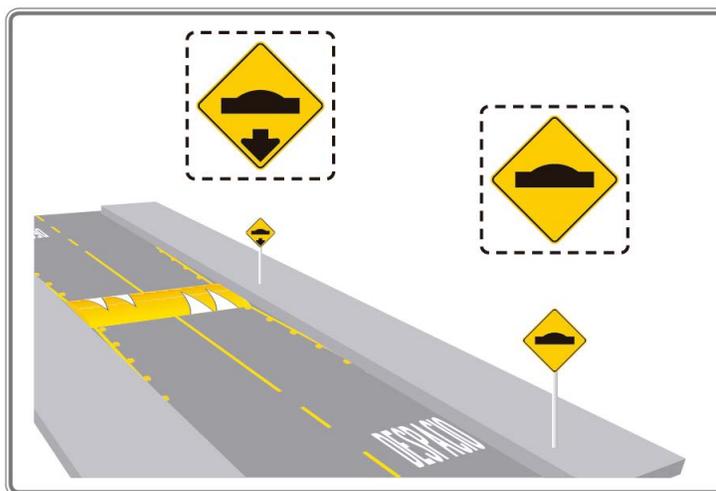
3.2.2.3. Limitaciones En el tramo estudiado no hay limitaciones.

3.2.2.3. Seguridad vial

3.2.2.3.1. Análisis de siniestralidad En el sector no se cuenta con siniestralidad en los datos de la Secretaría de Tránsito.

3.2.2.3.2. Señalización Adoptaremos la señalización del Manual de señalización vigente.

Figura 43: Modelo Señalización Adoptado



Fuente: (Manual Señalización INVIAS, 2015)

3.2.2.4. Urbanismo táctico

3.2.2.4.1. Revisión paisajista En el momento de la aplicación no se cuenta con un manual o guía de urbanismo táctico que podamos implementar para este ejercicio.

Sin embargo, el análisis se debe realizar teniendo en cuenta que el proyecto de forma integral debe contar con andenes tanto en la zona residencial, como en la zona de la ciclovía y dado el número de peatones son anchos que no superan los 2 metros. Se debe tener en cuenta la circulación de personas con movilidad reducida.

Teniendo en cuenta lo anterior, para este ejercicio académico no se presentará una propuesta arquitectónica, ni de urbanismo táctico.

3.2.2.5. Diseño Hidráulico

3.2.2.5.1. Hidroplaneo En la página 36 se encuentra el desarrollo del método de Galloway, encontramos los valores previstos del espesor de la película de agua y la velocidad de inicio del hidroplaneo. La velocidad máxima de la vía es de 30 km/h.

Reemplazamos los valores y obtenemos lo siguiente:

$$H = 2,56mm$$

Luego,

$$A = 15,45$$

$$A = 14,66$$

Se toma el mayor valor para este caso $A = 15,45$ y reemplazando los valores obtenemos lo siguiente:

$$V_H = 72,8km/h$$

Debido a que la vía es urbana, la velocidad máxima es 60 km/h. Por lo tanto, la vía no presentaría problemas de hidroplaneo.

A continuación se realizará el cálculo del tiempo de concentración del agua en una trayectoria de flujo:

$$T_C = 2,47minutos$$

De esta forma se puede concluir que, la opción más crítica sería el resultado de una lluvia de 2.47 minutos a partir de una velocidad de 72,8 km/h, se presentaría hidroplaneo.

Para nuestro caso en específico la posibilidad de hidroplaneo es mínima, es necesario diseñar las estructuras hidráulicas que permitan la evacuación de las aguas lluvias sin inconvenientes.

3.2.2.5.2. Diseño de estructuras hidráulicas En este sector la Alcaldía de Popayán no cuenta con colectores pluviales, ni tampoco existen estructuras hidráulicas públicas que permitan la evacuación de las aguas lluvias, por lo tanto, en el presente documento no fue factible desarrollar los diseños de las estructuras de captación.

Este sector tiene serios problemas de manejo de aguas lluvias debido a la carencia total de colectores o fuentes de recepción de las aguas lluvias, por lo tanto, es urgente el diseño de los colectores y de sus estructuras de captación.

3.2.2.6. Diseño de pavimentos A continuación se desarrolla la metodología de diseño de pavimentos. Primero se calcula el módulo de la mezcla asfáltica:

Frecuencia = 1.02 Hz para 5 km/h; 10 Hz para 60 km/h

IP = 0.3

Con los siguientes parámetros obtenemos:

$$\%V_b = 10,8\% \quad \%V_g = 85,2\%$$

$$S_{mix1Hz} = 5 \times 10^8 N/m^2 = 71,117 = 500 MPa$$

$$S_{mix10Hz} = 3 \times 10^9 N/m^2 = 426,700 = 3,000 MPa$$

Dado que el diseño de pavimentos debe diseñarse teniendo en cuenta la velocidad a que se quiere llegar atravesando el dispositivo, que para este caso se empleará una frecuencia de 1 Hz, equivalente a una velocidad de 5 km/h:

$$a_1 = 0,16$$

$$a_2 = 0,13$$

$$a_3 = 0,11$$

Contamos con los siguientes parámetros de diseño:

$$Z_R = -1,037(85\%)$$

$$S_o = 0,45$$

$$\Delta PSI = 4,2(P_0) - 2,0(P_t) = 2,2$$

Se cuenta con la siguiente información:

$$W18 = 50,000 \text{ ejes simplesequivalentes de } 8,2 \text{ toneladas}$$

$$M_{R_{SUBRASANTE}} = 9,669 PSI$$

$$M_{R_{SUBBASE}} = 15,000 PSI$$

$$M_{R_{BASE}} = 28,000 PSI$$

$$M_{R_{MIXASFALTICA}} = 72,250 PSI = 500 MPa$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = 1$$

$$SN_1 = 0,82; a_1 = 0,16; m_1 = 1,00$$

$$SN_2 = 1,12; a_2 = 0,13; m_2 = 1,00$$

$$SN_3 = 1,37; a_3 = 0,11; m_3 = 1,00$$

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \geq \frac{0,82}{0,16} \geq 5,125 \text{ pulgadas} \geq 13 \text{ centímetros}$$

$$SN_{1(REAL)} = a_1 * D_1 \geq SN_1 = 0,16 * 5,125 = 0,82 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_{1(REAL)}}{a_2 * m_2} \geq \frac{1,12 - 0,82}{0,13 * 1} \geq 2,31 \text{ pulgadas} \geq 6 \text{ centímetros}$$

$$SN_{2REAL} = SN_{1(REAL)} + a_2 * D_2 * m_2 \geq SN_2 = 0,82 + 0,13 * 7,87 * 1 = 1,84$$

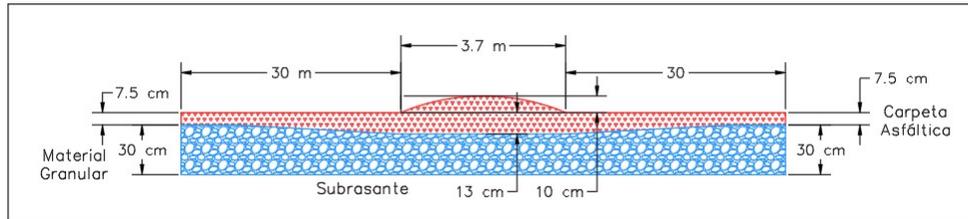
No necesita subbase, por lo tanto, termina el diseño aquí.

$$SN_{3REAL} \geq SN_3 = 1,84 \geq 1,37$$

En la Figura 44 , se muestra el plano constructivo en donde se logra concluir lo siguiente:

- El pavimento existente en la vía es de 7.5 cm con 30 cm de estructura granular (base y subbase).
- El frenado y la aceleración en un tramo de 30 metros genera una transición en el espesor del pavimento, aumentando el espesor de la carpeta asfáltica de 7.5 cm de la estructura existente a 13 cm en la zona del dispositivo.
- El reductor seleccionado obedece a un caso de velocidades medias en una zona rural y residencial, por lo tanto, se hace necesario proteger a la comunidad generando una disminución. Las medidas son las siguientes:
 - Altura 10 centímetros.
 - Longitud 3.7 metros para el reductor de velocidad circular en el PR 00+340 y PR 00+700. (Ver Figura 44)
 - Ancho de la vía, es la correspondiente al ancho existente, no fue modificada la geometría.
- La transición de los materiales granulares corresponde a continuar conservando el nivel en la subrasante de la estructura existente, aproximadamente 25 cm, aunque en el diseño se llega a que el material granular es de 20 cm, constructivamente es más fácil desarrollar el proyecto sin muchos cambios.

Figura 44: Plano constructivo reductor de velocidad circular en perfil del pavimento. Pisojé



Fuente: Propia

A continuación, en la Figura 45 se recopila la información del diseño del pavimento:

Figura 45: Diseño de Pavimentos

Formulario A5: Chequeo del Diseño de Pavimentos			
Parámetros		valor	
Geometría de la vía			
Ancho de carriles	metros	3	
Ancho de cunetas	metros	No hay.	
Número de carriles por dirección			
Tipo de vía y velocidad de diseño			
Vía primaria doble calzada	70-110 km/h		
Vía primaria una calzada	60-100 km/h		
Vía secundaria	40-80 km/h		
Vía terciaria	20-40 km/h		
Vía colectora	60-80 km/h		
Vía marginal	60 km/h		
Vía paisajística	50 km/h		
Vía local	30-50 km/h		30 km/h
Vía semipeatonal	30 km/h		
Distancia de recorrido para desaceleraral reductor (m)			
Ver páginas 27 - 28	metros	35	
Módulo dinámico de la mezcla asfáltica			
Módulo vía existente	psi	72,250	
Velocidad del vehículo	km/h	5	
Tiempo de aplicación de la carga (t)	segundos	0.2	
Frecuencia (f)	Hz	1	
Módulo dinámico de la base granular	psi	28,000	
Módulo dinámico de la subbase granular	psi	15,000	
Módulo del conjunto mejoramiento - subrasante	psi	x	
Módulo dinámico de la subrasante granular	psi	9,669	
Diseño de pavimentos			
Tránsito W_{18}	Ejes 8.2Ton	50,000	
Z_R Desviación Estándar			-1.037
S_D Error estándar combinado			0.450
ΔPSI			
Indice de Servicialidad Presente inicial	P_o	4.2	
Indice de Servicialidad Presente final	P_t	2.0	
Coeficientes Estructurales			
O_1	Carpeta	0.16	
O_2	Base Granular	0.13	
O_3	Subbase	0.11	
Coeficientes de Drenaje			
m_1	Carpeta	1.00	
m_2	Base Granular	1.00	
m_3	Subbase	1.00	
Número Estructural			
SN_1	Carpeta	0.82	
SN_2	Base Granular	1.12	
SN_3	Subbase	1.37	
Estructura de Pavimento			
Espesor Carpeta Asfáltica	cm	13	
Espesor Base Granular	cm	15	
Espesor Subbase Granular	cm	15	
Espesor Mejoramiento	cm	-	

Fuente: Propia

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
- 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.
- 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.).
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis design* (Second ed.; P. H. Pearson, Ed.). Pearson Prentice Hall.
- INVIAS. (2009). *Manual de diseño de drenajes viales*.
- Johnson, L., y a J Nedzesky. (2004). A comparative study of speed humps , speed slots and speed cushions. *ITE Annual Meeting and Exhibit*, 14.
- Manual Señalización INVIAS. (2015). *Manual de señalización invias* (Vol. 1).
- Marek, J. C., y Walgren, S. (1998). Mid-block speed control : Chicanes and speed humps. *68th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers*.