

**ESTUDIO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DEL PERFIL DE
VELOCIDADES DEL TRAYECTO TUMACO – PASTO K6+850 – K 25+000
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RADAR**

AUTORES:

**ROBERTO NIELSEN CORTES SANCHEZ
CARLOS JAVIER ESTRELLA CABRERA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**ESTUDIO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DEL PERFIL DE
VELOCIDADES DEL TRAYECTO TUMACO – PASTO K6+850 – K 25+000
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RADAR**

AUTORES:

**ROBERTO NIELSEN CORTES SANCHEZ
CARLOS JAVIER ESTRELLA CABRERA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título
de Ingeniero Civil**

DIRECTOR:

ING. SC. LUIS ARMANDO MERINO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son exclusivas de sus autores, por lo tanto la Universidad de Nariño no tiene ninguna responsabilidad”

Artículo 13 del acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico Superior de la Universidad de Nariño.

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ª del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2013

RESUMEN

En el presente estudio se busca evaluar la consistencia vial en un tramo de una de las principales vías del departamento de Nariño (Tumaco – Pasto), evaluando la velocidad de operación en curvas y rectas, en determinados puntos fijos de los elementos geométricos del tramo en estudio. Con los datos obtenidos se realiza un análisis comparando la velocidad de operación, la velocidad de diseño y el cambio de velocidades entre elementos consecutivos y su posterior evaluación con base en los criterios I y II de Lamm, los cuales permiten determinar la consistencia de cada elemento del tramo en estudio y la consistencia del tramo en sí mismo. El proyecto se realizó en la vía Tumaco – Pasto, en un tramo de 19 kilómetros desde el K6+850 al K25+000.

Esta vía es de gran importancia ya que es la salida al mar desde el interior del departamento de Nariño y la conexión entre las ciudades de Pasto y Tumaco. Para desarrollar el estudio se determinó realizar la medición manual por medio de una pistola radar, cuyo funcionamiento se basa en una onda de radio que es reflejada por un vehículo en movimiento que experimenta una variación en su frecuencia, que es función de la velocidad del vehículo en estudio, lo que se conoce técnicamente como efecto Doppler. Al medir el cambio de frecuencia se determina la velocidad del vehículo que la refleja.

Para el desarrollo de la presente investigación es necesario realizar un conteo piloto en el tramo de la vía en estudio, esta muestra incluye el volumen de tráfico por cada uno de los vehículos tipo, para el caso en particular se tomó una muestra de automóviles, buses y camiones C2 (camión de dos ejes). Después de haber elegido el método de medida, se busca la muestra representativa de vehículos para realizar los análisis estadísticos tales como la desviación estándar, el margen de error permitido por el investigador y el nivel de confiabilidad esperado. Como parte del trabajo de campo se hace una identificación de cada elemento del tramo (curvas y tangentes), de igual manera teniendo en cuenta la información de planos suministrados por el INVIAS, se determina el peralte máximo de cada curva, como parámetro para obtener la velocidad de diseño en dichas curvas.

La medición de la velocidad de operación se realiza en días ordinarios y días sábados en condiciones climáticas favorables (en ausencia de bruma y lluvias) y de flujo vehicular libre; los datos medidos se anotan en un formato, uno para cada sentido del elemento (Tumaco – Pasto y Pasto - Tumaco). Concluida la toma de datos se inicia el proceso de sistematización y análisis, teniendo como resultado la velocidad de operación en cada elemento, por tipo de vehículo y por cada sentido de flujo. Se procede entonces a elaborar los perfiles de velocidad de operación medida, y por otro lado se hace la evaluación de la consistencia del tramo de vía

en estudio. El proceso concluye con las respectivas conclusiones, observaciones y recomendaciones obtenidas del trabajo realizado.

ABSTRACT

The present study intends to assess the road consistency in a section of one of the main roads of the Department of Nariño (Tumaco - Pasto), evaluating the operating speed in curves and straight lines at certain fixed points of the geometric elements of the studied section. With the data obtained, an analysis is carried out comparing the operating speed with the design speed and the speed shifts among the successive elements. A subsequent evaluation based on Lamm's criteria I and II will be conducted as well, which permits to determine the consistency of each element of the section in study as well as the consistency of the section itself. The project was carried out in a stretch of 19 kilometers starting from the K6+850 to the K25+000 on the road from Tumaco to Pasto.

This road has great importance as it is the access to the sea from the interior of the department of Nariño and also a connection between Pasto and Tumaco. In order to conduct this study, it was determined to make a manual measurement using a radar gun, whose operation consists in a radio wave that is reflected by a vehicle in motion showing a variation in its frequency, which is a function of the speed of the vehicle being studied; this is technically known as the Doppler Effect. By measuring the frequency change is possible to determine the speed of the vehicle that reflects it.

For the conducting of the present research, it is necessary to make a pilot count in the stretch of the road in study. This sample includes traffic volume for each type of vehicle. For this case, it was taken a sample of cars, buses, and C2 trucks (two-axle trucks). Once the measurement method is selected, it is possible to obtain the representative sample of vehicles to perform the statistical analyses such as standard deviation, the margin of error allowed by the researcher, and the reliability level expected. As a part of the field work, an identification of each element of the stretch (curves and tangents) is made. Likewise, taking into account the information on the plans provided by INVIAS, it is determined the maximum steepness of every curve as a parameter to obtain the design speed in these curves.

The measurement of the operating speed is carried out on week days and on Saturdays if good weather conditions (in absence of mist and rain) and free traffic flow. The measured data are recorded in a format, one for each direction of the element (Tumaco-Pasto and Pasto-Tumaco). When the data collection process

had finish, begins the process of systematization and analysis, resulting in the operating speed on each element for type of vehicle and for each direction of flow; then proceeding to develop the profiles of measured operating speed. In addition, an evaluation of the consistency of the road stretch under study is done. The process ends with the conclusions, observations, and recommendations obtained from the work done.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCION</u>	21
1 <u>MARCO TEORICO</u>	27
1.1 <u>MARCO SITUACIONAL DEL LUGAR DE APLICACIÓN</u>	27
1.2 <u>ESTUDIOS DE VELOCIDAD</u>	27
1.3 <u>VELOCIDAD DE OPERACIÓN</u>	27
1.3.1 <u>Estudio de la velocidad de punto</u>	27
1.3.2 <u>Ubicación del estudio</u>	27
1.3.3 <u>Hora de estudio</u>	28
1.3.4 <u>Personal y equipo</u>	28
1.3.5 <u>Tamaño mínimo de la muestra (N)</u>	28
1.3.5.1 <u>Error permitido en la estimación de la velocidad (E)</u>	29
1.3.5.2 <u>Desviación normal (S)</u>	29
1.3.5.3 <u>Constante de confiabilidad (K)</u>	29
1.3.5.4 <u>Numero de intervalos de clase por tamaño de muestra</u>	30
1.3.6 <u>Análisis estadístico de los valores de posición</u>	30
1.3.6.1 <u>Media aritmética</u>	31
1.3.6.2 <u>Mediana</u>	31
1.3.6.3 <u>Moda</u>	31
1.3.7 <u>Análisis estadístico de los valores de dispersión</u>	31
1.3.7.1 <u>Amplitud</u>	31
1.3.7.2 <u>Desviación estándar (S)</u>	31

1.3.8	<u>Análisis estadístico de los valores de posición y dispersión</u>	32
1.3.8.1	<u>Percentil 85</u>	32
1.3.8.2	<u>Percentil 15</u>	32
1.3.9	<u>Otros valores estadísticos</u>	32
1.3.9.1	<u>Velocidad media temporal (V_t)</u>	32
1.3.9.2	<u>Velocidad media espacial (V_e)</u>	32
1.4	<u>ANTECEDENTES ESTUDIOS DE VELOCIDAD</u>	32
1.5	<u>PERFILES DE VELOCIDAD</u>	35
1.6	<u>CONSISTENCIA DE UNA VIA</u>	37
2.	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO</u>	37
2.1	<u>TRAMO DE ESTUDIO</u>	37
2.1.1	<u>Planos del tramo de estudio</u>	37
2.1.2	<u>Elementos y características</u>	37
2.2	<u>INSPECCION VISUAL DE LOS ELEMENTOS</u>	36
2.3	<u>ELECCION DEL EQUIPO A UTILIZAR</u>	38
2.4	<u>OBTENCION DE LA MUESTRA</u>	39
2.5	<u>TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA (N)</u>	44
2.5.1	<u>Desviación Normal (S)</u>	45
2.5.2	<u>Constante de confiabilidad (K)</u>	45
2.6	<u>FORMATO PARA LA CAPTURA DE INFORMACION EN CAMPO</u>	46
2.6.1	<u>Formato general</u>	46
2.6.1.1	<u>Hoja de campo</u>	46
2.6.1.2	<u>Toma de mediciones en campo</u>	46
2.7	<u>PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS</u>	48
3	<u>PROCESAMIENTO DE DATOS</u>	49
3.1	<u>CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTUDIADOS</u>	49
3.2	<u>CALCULO DEL PERCENTIL 85</u>	50

3.3	<u>VELOCIDAD DE DISEÑO, VELOCIDAD ESPECÍFICA, VELOCIDAD DEL PERCENTIL 85 Y SUS RESPECTIVAS COMPARACIONES</u>	50
3.4	<u>DESVIACION ESTANDAR</u>	61
3.5	<u>ACCIDENTALIDAD EN EL TRAMO ESTUDIADO 2012 Y 2013</u>	62
4	<u>ANALISIS DE DATOS</u>	64
4.1	<u>VELOCIDADES DE OPERACIÓN VS VELOCIDADES ESPECÍFICAS</u>	63
4.1.1	<u>Resultados sentido Tumaco – Pasto</u>	63
4.1.2	<u>Resultados sentido Pasto – Tumaco</u>	65
4.2	<u>VELOCIDADES DE OPERACIÓN ENTRE ELEMENTOS CONSECUTIVOS</u>	69
4.2.1	<u>Sentido Tumaco – Pasto</u>	69
4.2.2	<u>Sentido Pasto – Tumaco</u>	71
4.3	<u>CORRELACION ENTRE ACCIDENTALIDAD, VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE AUTOMOVILES Y VELOCIDADES ESPECÍFICAS</u>	73
	<u>CONCLUSIONES</u>	76
	<u>RECOMENDACIONES</u>	81
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	83
	<u>CIBERGRAFIA</u>	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<u>Tabla 1.</u> Desviaciones normales de velocidades de punto para la determinación del tamaño de la muestra	29
<u>Tabla 2.</u> Constante correspondiente al nivel de confiabilidad	30
<u>Tabla 3.</u> Numero de intervalos de clase por tamaño de muestra	30
<u>Tabla 4.</u> Criterio I de Lamm	36
<u>Tabla 5.</u> Criterio II de Lamm	36
<u>Tabla 6.</u> Resultados conteo piloto vehicular	40
<u>Tabla 7.</u> Desviaciones normales de velocidades de punto para la determinación del tamaño de la muestra	45
<u>Tabla 8.</u> Constante correspondiente al nivel de confiabilidad	46
<u>Tabla 9.</u> Ejemplo de formulario de recolección de datos para estudio	47
<u>Tabla 10.</u> Características de los elementos	49
<u>Tabla 11.</u> Velocidad de diseño, velocidad específica, velocidad del percentil85 y sus comparaciones. Sentido Tumaco – Pasto	51
<u>Tabla 12.</u> Velocidad de diseño, velocidad específica, velocidad del percentil85 y sus respectivas comparaciones. Sentido Pasto – Tumaco	56
<u>Tabla 13.</u> Desviación estándar promedio	61
<u>Tabla 14.</u> Accidentes de tránsito año 2012 hasta marzo de 2013	62
<u>Tabla 15.</u> Criterio I de Lamm	64
<u>Tabla 16.</u> Evaluación de los elementos según el primer criterio de Lamm	64
<u>Tabla 17.</u> Elementos en los que supera una velocidad de 80 km	66
<u>Tabla 18.</u> Evaluación de los elementos según el criterio I de Lamm	66
<u>Tabla 19.</u> Elementos en los que supera una velocidad de 80 km	68
<u>Tabla 20.</u> Evaluación de los elementos según el criterio II de Lamm	69

<u>Tabla 21.</u>	Elementos que representan diferencias medias de velocidad de operación entre elementos consecutivos. Sentido Tumaco-Pasto	71
<u>Tabla 22.</u>	Evaluación de elementos según el criterio II de Lamm	71
<u>Tabla 23.</u>	Elementos que representan diferencias medias de velocidad de operación entre elementos consecutivos. Sentido Pasto–Tumaco	73
<u>Tabla 24.</u>	Ancho de zona	77
<u>Tabla 25.</u>	Ancho de calzada (metros)	78
<u>Tabla 26.</u>	Bombeo de calzada	78
<u>Tabla 27.</u>	Radios (Rc) según velocidad específica (Vch) y peraltes (e) para e máx. = 8%	79

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
<u>Gráfica 1.</u> Conteo piloto vehicular K6+850. Pasto – Tumaco	40
<u>Gráfica 2.</u> Conteo piloto vehicular K6+850. Tumaco – Pasto	41
<u>Gráfica 3.</u> Velocidad de operación de autos, buses y camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto	52
<u>Gráfica 4.</u> Velocidad de operación de autos, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto	53
<u>Gráfica 5.</u> Velocidad de operación de buses, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto	54
<u>Gráfica 6.</u> Velocidad de operación de camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto	55
<u>Grafica 7.</u> Velocidad de operación de autos, buses y camiones c2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco	57
<u>Gráfica 8.</u> Velocidad de operación de autos, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco	58
<u>Gráfica 9.</u> Velocidad de operación de buses, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco	60
<u>Gráfica 10.</u> Velocidad de operación de camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco	60
<u>Gráfica 11.</u> Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el primer criterio de Lamm. Sentido Tumaco – Pasto	65

<u>Gráfica 12.</u>	Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio I de Lamm. Sentido Pasto – Tumaco	67
<u>Gráfica 13.</u>	Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio II de Lamm. Sentido Tumaco – Pasto	70
<u>Gráfica 14.</u>	Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio II de Lamm. Sentido Pasto – Tumaco	72
<u>Gráfica 15.</u>	Accidentalidad de los años 2012 y 2013 vs. Velocidades de operación de automóviles y velocidades específicas	74
<u>Gráfica 16.</u>	Accidentalidad de los años 2012 y 2013 vs. Velocidades de operación de automóviles y velocidades específicas	75

LISTA DE IMAGENES

	Pág.
<u>Imagen 1.</u> Pistola STALKER radar de velocidad MPH ó KPH	38
<u>Imagen 2.</u> Volumen de transito promedio diario semanal. Nariño – INVIAS	42

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

		Pág.
<u>Fotografía 1.</u>	Inspección visual de los puntos	37
<u>Fotografía 2.</u>	Marcación de puntos	38
<u>Fotografía 3.</u>	Automóvil tipo	42
<u>Fotografía 4.</u>	Bus tipo	43
<u>Fotografía 5.</u>	Camión tipo C2 ejemplo 1	43
<u>Fotografía 6.</u>	Camión tipo C2 ejemplo 2	44

GLOSARIO

Calzada. Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.

Carretera. Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Carril. Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos

Consistencia. La consistencia de una vía o una carretera se refiere al grado de adecuación que hay entre el comportamiento o la geometría de la misma y las expectativas que los conductores tienen de esta.

Curva horizontal. Es un elemento que hace parte del alineamiento horizontal, es un tramo que une dos tangentes horizontales.

Curva vertical. Es un elemento que hace parte del alineamiento en perfil, es un tramo que une dos tangentes verticales consecutivas y que ayuda a suavizar el cambio de pendiente de una tangente a otra.

Nivel de servicio. Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.

Pendiente. Inclinação o relación entre la diferencia de niveles y la distancia horizontal entre dos puntos. En cuanto a carreteras se define dos tipos de pendientes: la pendiente longitudinal al eje de la vía y la pendiente transversal de los vehículos.

Percentil 85 de una distribución de velocidades. Es el percentil que generalmente se utiliza para evaluar la velocidad de operación en una vía. Se obtiene de una distribución de velocidades correspondientes a vehículos circulando en condiciones de flujo libre en un tramo de vía; en otras palabras el percentil 85% corresponde a la velocidad que solo es superada por el 15% de dichos vehículos circulando a flujo libre.

Pistola radar de velocidad. Es un instrumento utilizado para medir la velocidad de un blanco; funcionan bajo el principio Doppler. El equipo mide la diferencia

entre la frecuencia de la señal transmitida y la señal reflejada, que luego es convertida a velocidad en millas por hora o kilómetros por hora.

Reductor de velocidad. Dispositivos que obligan a disminuir la velocidad de los conductores. Son dispositivos colocados sobre la superficie de rodadura cuya finalidad es la de mantener unas velocidades de circulación reducidas a lo largo de ciertos tramos.

Señalización horizontal. Elemento señalizador colocado o pintado en el pavimento.

Señalización vertical. Placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

Tangente horizontal. Es un elemento que hace parte del alineamiento horizontal, es un tramo que une alineamientos de curvas.

Tangente vertical. Tramos rectos del eje del alineamiento vertical, los cuales están enlazados entre sí por curvas verticales.

Tramo homogéneo. Longitud del trazado de la carretera al que por las características topográficas se le asigna una determinada velocidad de diseño.

Vehículo de diseño. Tipo de vehículo cuyo peso, dimensiones y características de operación se usan para establecer los controles de diseño que acomoden vehículos del tipo designado. Con propósitos de diseño geométrico, el vehículo de diseño debe ser uno, se podría decir que imaginario, cuyas dimensiones y radio mínimo de giro sean mayores que los de la mayoría de vehículos de su clase.

Velocidad de diseño. Velocidad guía de referencia de un tramo homogéneo de carretera, que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de seguridad y comodidad.

Velocidad de operación. Promedio que desarrollan el 85% de los usuarios en un tramo determinado de una vía.

Velocidad específica. Es la velocidad con que se diseña en particular cada elemento de un tramo de vía, como mínimo esta velocidad corresponde a la velocidad de diseño del proyecto.

INTRODUCCIÓN

La velocidad es un elemento significativo dentro del transporte terrestre puesto que hace referencia no sólo a la seguridad si no al tiempo, la comodidad, la conveniencia y la economía durante el recorrido, factores directamente relacionados con la calidad del viaje en los que se involucran conductores y pasajeros. Razones más que suficientes para que la velocidad sea determinada, analizada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un balance entre el usuario, el vehículo y la carretera garantizando seguridad.

Esta propuesta es el resultado del desarrollo de un trabajo de campo, en el que se determinaron las velocidades de operación en lugares específicos, localizados en la longitud media de cada alineación y curva en particular del corredor Tumaco – Pasto (K6+850 - K25+000), el cual hace parte de la red nacional vial Ruta 10.

La clasificación de vehículos que se tuvo en cuenta para el desarrollo del presente estudio corresponde a: automóviles, buses y camiones; cuyas mediciones de las velocidades de operación para cada tipo se efectuaron bajo las condiciones preponderantes tanto de tránsito como climáticas durante la hora de estudio, mediante métodos automáticos como lo es la utilización de pistolas radar.

Dado que en el medio no existen estudios previos en los que se haya establecido la desviación estándar como base para establecer futuros referentes en este tipo de trabajos, se hace imprescindible el empleo de este estudio como plataforma para la determinación de la desviación estándar en cada uno de los alineamientos, además de un promedio general de todo el proyecto.

El desarrollo de éste proyecto es evidente por la importancia de las aplicaciones que este tipo de estudios representan para la ingeniería de tránsito y transporte, como lo son el análisis de accidentes, establecer elementos de diseño, planeación de la operación de tránsito, regulación y control, lugares con problemas de velocidad, estudios de investigación que involucren flujos de tránsito, además de que nos permite tener otro criterio para la elección de la velocidad de diseño, si se trabaja en proyectos con características similares a este.

TEMA

TITULO DEL PROYECTO

ESTUDIO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DEL PERFIL DE VELOCIDADES DEL TRAYECTO TUMACO - PASTO K6+850 - K25+000 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RADAR.

Modalidad

Campo de investigación. Este proyecto se desarrolló mediante la modalidad de investigación aplicada.

Fundamentado en la medición de la velocidad de operación de los vehículos evaluándola comparativamente con la velocidad de diseño geométrico del tramo de vía en estudio.

ALCANCE Y DELIMITACIÓN

Tramo: Tumaco - Pasto (K6+850 - K25+000).

Localización del estudio: Se efectuó en la longitud media de cada uno de los alineamientos y curvas.

Sentido de marcha: El estudio se realizó en los dos sentidos de marcha (de norte a sur y de sur a norte).

Hora de estudio: Se desarrolló en los rangos horarios de 7:00 am a 12:00 M y de 2:00 pm a 6:00 pm.

Días de estudio: Los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y sábado. Se exceptuaron los días domingos y festivos.

Condiciones climáticas: Para el registro de datos, las condiciones climáticas fueron totalmente favorables en ausencia de bruma y lluvia. Bajo ningún motivo se realizaron mediciones bajo condiciones desfavorables.

Tipo de vehículos: Los vehículos seleccionados para el estudio son automóviles, buses y camiones.

Tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra seleccionada fue de 65 vehículos para cada tipo de vehículo.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Aunque en el medio no existen estudios para demostrar que las velocidades de operación de los vehículos superan la velocidad de diseño del trayecto (K6+850 al K25+000) Tumaco - Pasto, es imperante el desarrollo del mismo para establecer parámetros de referencia y corroboración que permitan no incurrir en errores en futuros proyectos a realizarse en la región, además de servir como fuentes de información para estudios de límites de velocidad, zonas de rebase, ubicación de señales de tránsito, siniestralidad y tendencias de velocidad, entre otras.

Este estudio registró la velocidad de un número suficiente de vehículos en cada categoría (puesto que los modelos existentes solo aplican en su gran mayoría para vehículos livianos), en cada una de las alineaciones y curvas en los dos sentidos de marcha; de forma que con los datos recolectados podamos inferir el percentil 85 de la velocidad de los conductores, empleado comúnmente en la mayoría de estudios de transporte, y la realización de un análisis estadístico de los valores de posición, valores de dispersión y valores de posición-dispersión, al igual que otros como son la velocidad media temporal y la velocidad media espacial, para concluir con la elaboración del perfil de velocidades de operación de todo el trayecto y su posterior análisis y comparación con la Normativa Colombiana 2008 y con algunos modelos de estimación de la velocidad de operación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El creciente desarrollo económico, la globalización, la incursión de nuevas tecnologías en el desarrollo de vehículos, al igual que el costo de construcción, son los ítems más relevantes a la hora de establecer un nuevo proyecto vial, los mismos que condicionan la elección de la velocidad de diseño para que satisfaga las necesidades actuales al igual que las proyectadas hacia el futuro. Así mismo estos ítems ejercen notable influencia en proyectos ya establecidos como el caso de este estudio, en el que los parámetros geométricos de la vía rayan en inconveniencia con las demandas actuales y mucho más con las futuras, como lo pretende demostrar los resultados de este trabajo.

La consistencia vial puede interpretarse como la relación entre las características geométricas de una carretera y lo que espera encontrar el conductor que circula por ella. Si hay una correspondencia entre estos dos aspectos la conducción puede hacerse de modo continuo, sin sobresaltos, lo que incide favorablemente sobre la seguridad en la circulación. Esto no siempre se logra, y sólo en los últimos años se ha iniciado el estudio de metodologías para evaluar la

consistencia, tanto en vías existentes como en vías proyectadas.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es la consistencia vial basada en la velocidad de operación de automóviles, buses y camiones de dos ejes del tramo de vía comprendido entre el K6+850 y K25+000, vía Tumaco - Pasto del departamento de Nariño?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener las velocidades de operación y analizar el perfil de velocidades del trayecto Tumaco - Pasto K6+850 - K25+000 mediante la utilización de radar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las velocidades de punto para automóviles, buses y camiones en la longitud media de cada alineamiento y de cada curva en los dos sentidos de marcha.
- Calcular la desviación estándar para cada tipo de vehículo y por cada uno de los alineamientos y curvas en los dos sentidos de marcha.
- Realizar el análisis estadístico de las mediciones determinadas.
- Analizar el perfil de velocidades en comparación con la normativa Colombiana 2008.
- Proporcionar un referente estadístico para futuros proyectos y estudios de tránsito y transporte en dicho trayecto.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MARCO SITUACIONAL DEL LUGAR DE APLICACIÓN

El corredor Tumaco - Pasto - Mocoa se ubica en la zona sur del país paralelo a la frontera con el Ecuador, en sentido oeste - este. Es parte del proyecto internacional corredor multimodal Tumaco - Puerto Asís - Belem do Para dentro del eje del Amazonas, y es destacado como proyecto ancla dentro del esquema de proyectos del IIRSA.

1.2 ESTUDIOS DE VELOCIDAD

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde este punto de vista, para medir la calidad del movimiento del tránsito se utilizan la velocidad de punto, en sus dos componentes media temporal y media espacial; la velocidad de recorrido y la velocidad de marcha¹.

1.3 VELOCIDAD DE OPERACIÓN

La AASHTO define la velocidad de operación como “la máxima velocidad media a la que un conductor puede circular en una sección dada de vía bajo condiciones favorables de meteorología, condiciones predominantes de tráfico y sin exceder la velocidad segura en ningún momento, determinada ésta mediante la velocidad de diseño basada en un análisis por tramos de vía”.

1.3.1 Estudio de la velocidad de punto. La intención de los estudios de velocidad puntual se emplea para registrar las características de velocidad en el tráfico existente bajo las condiciones en un lugar específico a lo largo de una calzada².

1.3.2 Ubicación del estudio. Los estudios de velocidad de punto se efectúan en lugares especiales o generales. Las ubicaciones especiales son elegidas para

¹ REYES SPÍNDOLA, Rafael y CÁRDENAS G, James, Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. 7 ed. México, D.F. Alfaomega, 2000.

² MASSSAFE AT THE UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS, AMHERST. Spot Speed Study Workshop Instruction Manual. Boston. 2005.

establecer límites de velocidad de tramos específicos de calles o carreteras; para evaluar mejoras en el tránsito y para estudiar lugares de accidentes. Los estudios de velocidades de punto se realizan en lugares especiales, para estudios de investigación o para evaluar relaciones entre la velocidad y los diversos factores que influyen en la velocidad de punto como son: el conductor, el vehículo, el camino, el tránsito y las condiciones atmosféricas.

1.3.3 Hora de estudio. La hora para hacer un estudio de velocidad de punto dependerá del objetivo del mismo. Algunos estudios requerirán de observaciones de velocidad por más de un día, para obtener el tamaño necesario de la muestra. Los estudios de velocidad de punto deben efectuarse en condiciones normales atmosféricas y de tránsito. Se deben evitar en lo posible las horas pico.

1.3.4 Personal y equipo. Los datos de velocidad pueden recopilarse por métodos manuales o automáticos dependiendo del equipo que se disponga. Con el método automático se emplean dispositivos eléctricos y/o mecánicos, para medir las velocidades de los vehículos al pasar. El radar es el dispositivo automático comúnmente empleado para medir velocidades de punto³.

1.3.5 Tamaño mínimo de la muestra (N). Cuando se miden velocidades puntuales no interesa la velocidad de los vehículos que se observan específicamente, sino la velocidad representativa del total de vehículos que pasaron por un punto y que van a pasar mientras las condiciones no cambien significativamente, es decir de la población de vehículos. Como es imposible medir la velocidad de toda la población, se observa una parte de ella, denominada muestra y de las características de ésta se infieren las características de la población. Sin embargo, esta metodología produce errores de inferencia en los valores estimados, errores que disminuyen con el tamaño de la muestra, es decir, con el número de observaciones particulares realizadas. Para tener una certeza de que los parámetros inferidos contengan únicamente errores tolerables, se establece un tamaño mínimo para la muestra, dado por:

$$N = \frac{S^2 K^2 (2 + U^2)}{2E^2}$$

³ BOX, Paul C y OPPENLANDER, Joseph C. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. 4^a ed. México, D.F, 1985.

N: Tamaño mínimo de la muestra (cantidad de vehículos)
 S: Desviación estándar estimada de la muestra
 K: Constante correspondiente a un nivel de confianza deseado
 E: Error permitido en la estimación de la velocidad
 U: Constante correspondiente a la velocidad estadística deseada
 Para velocidad media, usar 0.00
 Para el 15 o el 85 porcentual, usar 1.04
 Para el 5 o el 95 porcentual, usar 1.64 (Box y Oppenlander, 1976)

1.3.5.1 Error permitido en la estimación de la velocidad (E). Esta medida es una tolerancia absoluta, es decir, el error permitido es establecido como en más o menos de un valor elegido que puede oscilar entre ± 8.0 km/h (± 5.0 mi/h) a ± 1.5 km/h (± 1.0 mi/h) o menos aun.

1.3.5.2 Desviación Normal (S). Si no existen estudios referentes a la determinación de la desviación normal de las velocidades de punto del lugar en estudio, se puede obtener un valor estimado de la siguiente tabla de acuerdo al tipo de tránsito y al tipo de camino o vía.

Tabla 1. Desviaciones normales de velocidades de punto para la determinación del tamaño de la muestra.

Tipo de Tránsito	Tipo de Camino	Desviación Normal Promedio	
		Km/h	mi/h
Rural	Dos carriles	8.5	5.3
Rural	Cuatro carriles	6.8	4.2
Intermedio	Dos carriles	8.5	5.3
Intermedio	Cuatro carriles	8.5	5.3
Urbano	Dos carriles	7.7	4.8
Urbano	Cuatro carriles	7.9	4.9
Valor redondeado		8.0	5.0

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito.

1.3.5.3 Constante de confiabilidad (K). Por lo general se emplea un valor de $K = 2.00$ para un nivel de confiabilidad del 95.5%, su valor determina la probabilidad de que la velocidad media, sea una estimación válida.

Tabla 2. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Constante K	Nivel de Confiabilidad (por ciento)
1.00	68.3
1.50	86.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de Estudios de Ingeniería de Transito.

1.3.5.4 Número de Intervalos de clase por tamaño de muestra (M). Para analizar datos, estos deben ser organizados en valores de magnitud similar en intervalos de clase, que dependen de la cantidad de datos o del tamaño de la muestra.

Tabla 3. Número de Intervalos de clase por tamaño de muestra.

Tamaño de Muestra	Número de Intervalos
N	M
50-100	7-8
100-1.000	10-11
1.000-10.000	14-15
10.000-100.000	17-18
Mayor de 100.000	$1 + 3.3\text{Log}_{10}(M)$

Fuente: Reyes y Cárdenas. Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones.

1.3.6 Análisis estadístico de los valores de posición

1.3.6.1 Media aritmética. La media aritmética es la suma de todas las velocidades multiplicada por la frecuencia, dividida en el número de observaciones y representa la **velocidad media temporal**.

$$\tilde{V} = \frac{\sum V_i f_i}{N}$$

$\tilde{V}$: Velocidad media temporal.

V_i : Velocidad del punto medio del intervalo de clase.

f_i : Frecuencia observada absoluta (número de vehículos pertenecientes a cada grupo)

1.3.6.2 Mediana. La mediana es el valor de velocidad correspondiente al 50% de frecuencia acumulada, es decir, la velocidad máxima que adopta el 50% de los conductores y su valor se deriva de la ojiva porcentual (Gráfico de frecuencia absoluta vs. velocidad que indica el porcentaje de vehículos viajando a, o por debajo, de determinada velocidad).

1.3.6.3 Moda. Es el valor que más se repite, o sea, la velocidad que presentaron la mayoría de vehículos al realizar el estudio.

1.3.7 Análisis estadístico de los valores de dispersión.

1.3.7.1 Amplitud. La amplitud registra la magnitud del ancho del rango de velocidades observadas, mediante la diferencia entre el valor máximo y el mínimo aforados. Representa la velocidad del vehículo más lento por debajo de la velocidad que adoptó el conductor más rápido.

1.3.7.2 Desviación estándar (S). Indica la variación entre las distintas velocidades observadas. Está determinada por la siguiente expresión: Ecuación 3.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (f_i V_i^2) - \frac{[\sum_{i=1}^M (f_i V_i)]^2}{N}}{N - 1}}$$

1.3.8 Análisis estadístico de los valores de posición y dispersión.

1.3.8.1 Percentil 85. Corresponde al valor de la velocidad en la ojiva porcentual cuando la frecuencia acumulada relativa vale 85 %.

1.3.8.2 Percentil 15. Corresponde al valor de la velocidad en la ojiva porcentual cuando la frecuencia acumulada relativa vale 15%.

1.3.9 Otros valores estadísticos.

1.3.9.1 Velocidad media temporal ($\bar{V}_t$). La velocidad media temporal corresponde a la media aritmética de las velocidades instantáneas de los vehículos que pasan por un punto en un lapso dado.

$$\bar{V}_t = \frac{\sum V_i f_i}{N}$$

1.3.9.2 Velocidad media espacial (V_e). Corresponde a la media armónica de las velocidades instantáneas, es decir la media de las velocidades de los vehículos que se encuentran en un tramo en un momento dado. La velocidad media espacial es preferible a la media temporal porque guarda mayor relación con otros parámetros del tránsito⁴.

$$V_e = \frac{N}{\sum \left[\frac{f_i}{V_i} \right]}$$

1.4 ANTECEDENTES ESTUDIOS DE VELOCIDAD

- Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalista de la evolución de vehículos ligeros. Pérez Zuriaga, Ana María.- Universitat Politècnica de Valencia. Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes – Departament d'Enginyeria i Infraestructura dels Transports.

⁴JIMENEZ PEREZ, Edgar Ramiro. Estudio sobre Velocidad Puntual Av. Ambalá entre Calles 67 y 69. Tesis Especialización en Vías y Transporte. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 2007.

Los tres principales factores concurrentes de la siniestralidad son: el conductor, el vehículo y la infraestructura. Este último es el causante, en mayor o menor medida, del 30% de los accidentes en carretera. Una de las principales razones relacionadas con la infraestructura es la baja consistencia del diseño geométrico, que produce que la geometría de la vía no se ajuste a las expectativas de los conductores y, por tanto, que estos puedan verse sorprendidos ante ciertas configuraciones de la misma, dando como resultado un incremento en el número de accidentes. Los criterios más utilizados para la determinación de la consistencia están basados en la evaluación del perfil de velocidad de operación, identificada como el percentil 85 de la distribución de velocidades de vehículos circulando en condiciones de flujo libre en un tramo de carretera. Esta variable puede obtenerse a partir de mediciones durante la fase de explotación de una carretera. Sin embargo, tanto en la fase de planeamiento como en la de proyecto, únicamente puede estimarse. Para ello, se utilizan los modelos de estimación de la velocidad de operación a partir de las características geométricas del trazado de la carretera. En el presente trabajo de investigación, se han calibrado diferentes modelos que, mediante una serie de reglas de construcción, permiten la estimación del perfil continuo de velocidad de operación en un tramo de carretera convencional, a partir de sus características geométricas. Para ello, se ha desarrollado una nueva metodología de toma de datos. Esta metodología se basa en los datos registrados mediante dispositivos GPS instalados en vehículos de conductores ajenos a la investigación. Los resultados de la toma de datos consisten en los perfiles continuos de velocidad de operación individuales de cada conductor y en su trayectoria. Su tratamiento permite la restitución de la geometría del trazado de la carretera y la obtención del perfil continuo de velocidad de operación.

- Utilización de equipos GPS de seguimiento pasivo en la obtención de perfiles de velocidad operativa. Revela una metodología para la revisión de los límites.- Sandro Rocci y Alfredo García-Madrid España.

Estudio realizado para revisar los límites de velocidad de una vía con el uso de tecnología GPS; se utilizaron en su totalidad 50 equipos se ubicaron en los techos de los autos, el estudio fue desarrollado en las carreteras cerca a los casinos y la zona del Emperador de Valencia España en dos tramos de longitud de 4.5 km y de 2 km respectivamente, se realizaron 20 y 15 pasadas por cada sentido.

Los datos obtenidos de este estudio se utilizaron en la elaboración de perfiles de velocidad que permiten estas tendencias de la velocidad; entre otras utilidades del GPS se obtuvo la geometría de la vía.

- Estudio sobre velocidad puntual Avenida Ambalá entre calles 67 y 69 Ibagué

Tolima. – informe. Ingeniero Civil Edgar Ramiro Jiménez Pérez. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Estudio que se realizó en la ciudad de Ibagué para conocer la velocidad de los vehículos que circulan por la Avenida Ambalá, cerca de la intersección de esta Avenida con la Calle 67, la cual sirve de acceso peatonal y vehicular a la Universidad de Ibagué.

Se determinó la velocidad de operación mediante el análisis del percentil 85, las mediciones de velocidad se realizaron mediante método manual (cronometro), utilizando estudiantes de ingeniería Civil de la Universidad como aforadores.

- CÁLCULO DE LA VELOCIDAD SEGURA DE CIRCULACIÓN DE LOS VEHICULOS AUTOMOVILES EN FUNCION DE LA GEOMETRIA DE LA CARRETERA.

COMPARACIÓN DE MODELOS.

JIMÉNEZ ALONSO, Felipe; APARICIO IZQUIERDO, Francisco

(1) Universidad Politécnica de Madrid, España

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica

Departamento de Vehículos Aeroespaciales

e-mail: felipe.jimenez@upm.es

(2) Universidad Politécnica de Madrid

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil

e-mail: faparcio@insia.upm.es

Dentro de los factores más influyentes sobre la seguridad de la circulación por carretera están los derivados de la propia geometría de ésta. Existe un gran interés por parte de las administraciones reguladoras de las vías públicas en Europa, EEUU y Japón en la estimación, con criterios objetivos, de las velocidades seguras. El descrédito de la actual señalización demuestra la inadecuación de ésta a la percepción del riesgo por parte de los usuarios.

En este trabajo, se presenta una metodología de cálculo de la velocidad segura en base a una medida precisa y un análisis detallado de las características geométricas de la carretera. Para ello, se localizan las secciones de peligro potencial, se definen los criterios objetivos de riesgo y se emplean modelos matemáticos de dinámica vehicular. Los resultados se comparan con los que se obtienen de la aplicación de otros métodos y modelos más simplificados.

Los niveles de velocidad segura han sido implementados dentro de un sistema de aviso al conductor embarcado en un vehículo comprobándose su efectividad en cuanto a una mejor adecuación de la marcha a la geometría de la vía.

- Métodos de perfil de velocidad para la evaluación de consistencia del trazado en carreteras de la provincia de Villa Clara, Cuba.- René A. García Depestre, Domingo E. Delgado Martínez, Eduardo E. Díaz García.

Entre los aspectos relativos a la carretera que influyen en la accidentalidad, tiene un gran peso el diseño geométrico, internacionalmente el método más empleado para la evaluación del diseño es a partir de la consistencia del trazado con modelos de perfil de velocidades de operación. Cuba no cuenta con modelos propios que consideren las características de las carreteras y los conductores, por lo que es necesario desarrollar modelos de predicción de velocidades para la evaluación de la consistencia del trazado. El desarrollo de modelos de predicción del perfil de velocidades de operación para diferentes condiciones de alineación en carreteras rurales de dos carriles en el contexto de Cuba, se efectúa a partir de características geométricas y velocidades puntuales, con análisis estadístico de las principales variables que relacionan la velocidad con el diseño. Una vez desarrollados los modelos, se aplican a un tramo de carretera declarado como tramo de concentración de accidentes (TCA) de la provincia de Villa Clara localizada en la región central de Cuba, los resultados obtenidos confirman la validez de los modelos desarrollados para determinar los perfiles de velocidad de operación y de esta forma, evaluar la consistencia del trazado, con el objetivo de detectar los lugares de mayores dificultades con relación al trazado.

1.5 PERFILES DE VELOCIDAD

El perfil de velocidad son diagramas de velocidades vs distancias, en el van incluidos la velocidad de operación, la velocidad de diseño, la diferencia de las velocidades entre los elementos sucesivos de un tramo de vía.

Por medio de los perfiles de velocidad se puede evaluar el comportamiento de la velocidad como también su consistencia, permite localizar puntos críticos así como también permite visualizar la diferencia entre velocidades de operación, de diseño, la velocidad específica y las velocidades reglamentarias.

1.6 CONSISTENCIA DE UNA VÍA

Dentro de los factores productores de accidentalidad ocasionados en las vías de transporte terrestre se encuentran los conductores con un 95%, los vehículos 8% y la infraestructura la cual es causante de alrededor del 30% de la inseguridad en las carreteras y está relacionado directamente con la consistencia del diseño

geométrico, a la vez determinante en la comodidad del conductor representado en la velocidad de operación del vehículo, en la cual no se vea sorprendido con cambios bruscos en el diseño geométrico, logrando así la disminución de los accidentes viales. Para la determinación de la consistencia en una vía se utilizan principalmente el perfil de velocidad de operación, identificada como el percentil 85 de la distribución de velocidades de vehículos circulando bajo condiciones de flujo libre en un tramo de la carretera.

Lograr una buena consistencia vial se traduce en una carrera con diseño de elementos geométricos que ofrecen al usuario (conductor) tramos de vías con velocidad de operación evitando maniobras críticas.

Los criterios de Lamm se utilizarán en la evaluación de la consistencia vial, estos criterios se basan en el análisis de velocidades descrito a continuación:

- CRITERIO I. Consistencia en el diseño

Comparación entre la velocidad de diseño (V_d) y la de operación (V_{85})

Tabla 4. Criterio I de Lamm

BUENO	REGULAR	MALO
$ V_{85} - V_d \leq 10$ [km/h]	$10 < V_{85} - V_d \leq 20$ [km/h]	$ V_{85} - V_d > 20$ [km/h]

- CRITERIO II. Consistencia en la velocidad de operación

Comparación entre velocidades de operación (V_{85}) entre elementos consecutivos de trazado.

Tabla 5. Criterio II de Lamm

BUENO	REGULAR	MALA
$ V_{85i} - V_{85i+1} \leq 10$ [km/h]	$10 < V_{85i} - V_{85i+1} \leq 20$ [km/h]	$ V_{85i} - V_{85i+1} > 20$ [km/h]

- CRITERIO III. Estabilidad dinámica

Determina la diferencia entre el rozamiento transversal movilizado y demandado.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 TRAMO DE ESTUDIO

2.1.1 Planos del tramo de estudio. La identificación de los elementos del tramo en estudio se realizó por medio de planos suministrados por el INVIAS, los cuales contienen la información de las características geométricas de la vía como vistas en plantas con longitudes, ancho de calzada, curvas horizontales, trazado en perfil con las respectivas curvas verticales y pendientes.

2.1.2. Elementos y características. Se identificaron en el tramo de estudio tres curvas y tres tangentes.

2.2 INSPECCION VISUAL DE LOS ELEMENTOS

La inspección visual para la identificación de los diferentes puntos se realizó con la ayuda de los planos. Se utilizó decámetro para localizar los centros de curvas.

Fotografía 1. Inspección visual de los puntos



Fotografía 2. Marcación de puntos



2.3 SELECCION DEL EQUIPO A UTILIZAR

Existen varios dispositivos para realizar la medición de velocidades de puntos tales como las técnicas infrarrojas y de láser, para desarrollar el estudio se determinó realizar la medición manual por medio de una pistola radar, la cual su funcionamiento se basa en que una onda de radio reflejada por un vehículo en movimiento experimenta una variación en su frecuencia que es función de la velocidad del vehículo, lo que se conoce como efecto Doppler. Al medir el cambio de frecuencia se determina la velocidad del vehículo que la refleja.

Imagen 1. Pistola STALKER radar de velocidad MPH O KPH



ESPECIFICACIONES

Rango de velocidad	5 - 250 MPH, 8 - 400 KPH
Precisión	+ / - 0.1 MPH
Tiempo de adquisición de punto	0.046 Segundos (Modo de bolas) 0.08 Segundos (Modo de vehículos)
Frecuencia de muestreo segundo	25 Actualizaciones de velocidad por
Max. Distancia de lectura (Estimado)	4000 Ft–Carros de pasajeros 1500 Ft–Vehículos 1000 Ft–Embarcaciones acuáticas 200 Ft–Baseballs

Para el cálculo de la velocidad se apunta el elemento a medir en la misma dirección del objetivo, logrando que se realice en línea recta con respecto al operador de la pistola radar, se presiona el gatillo y así queda registrado el valor de la velocidad en la pantalla.

Este trabajo de grado determina que la pistola Stalker radar utilizada en el estudio será donada a la Universidad de Nariño, para ser utilizada en futuros estudios de investigación.

2.4 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

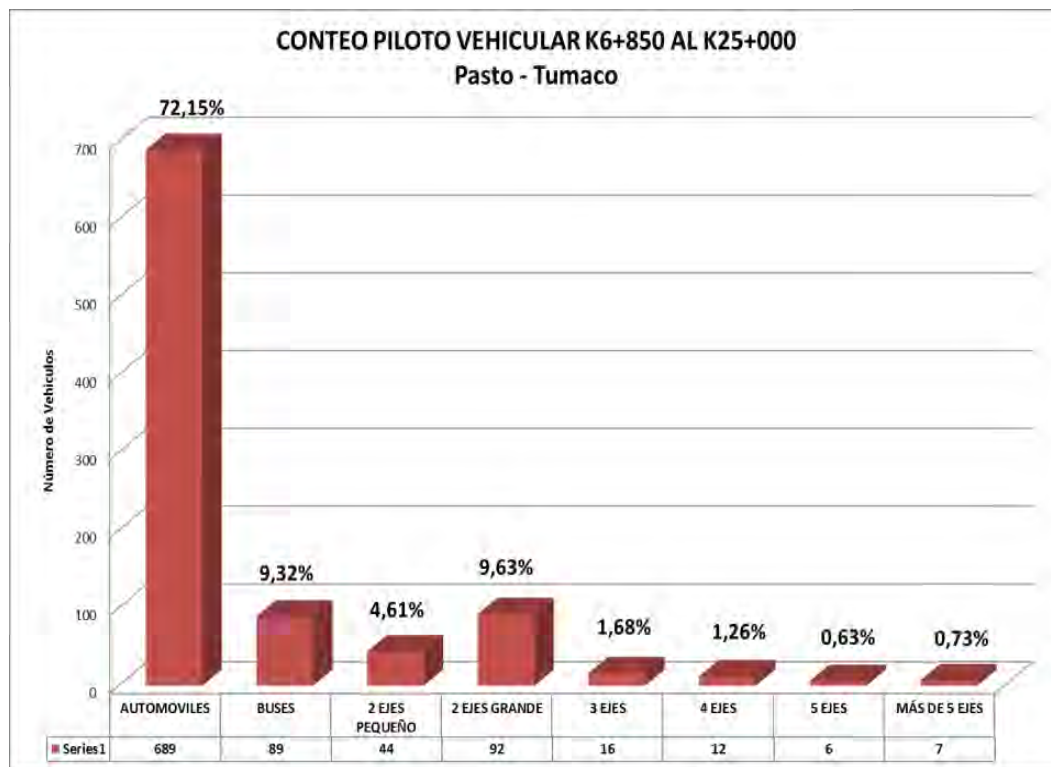
2.4.1 Tipo de automóviles. Teniendo en cuenta que no todos los tipos de vehículos que existen pasan por la vía Tumaco-Pasto en un número representativo, se realizó un conteo piloto vehicular el cual arrojó los siguientes resultados:

Duración del conteo: 12 horas
Hora de inicio: 6 am
Hora de terminación: 6 pm
Lugar: kilómetro 9

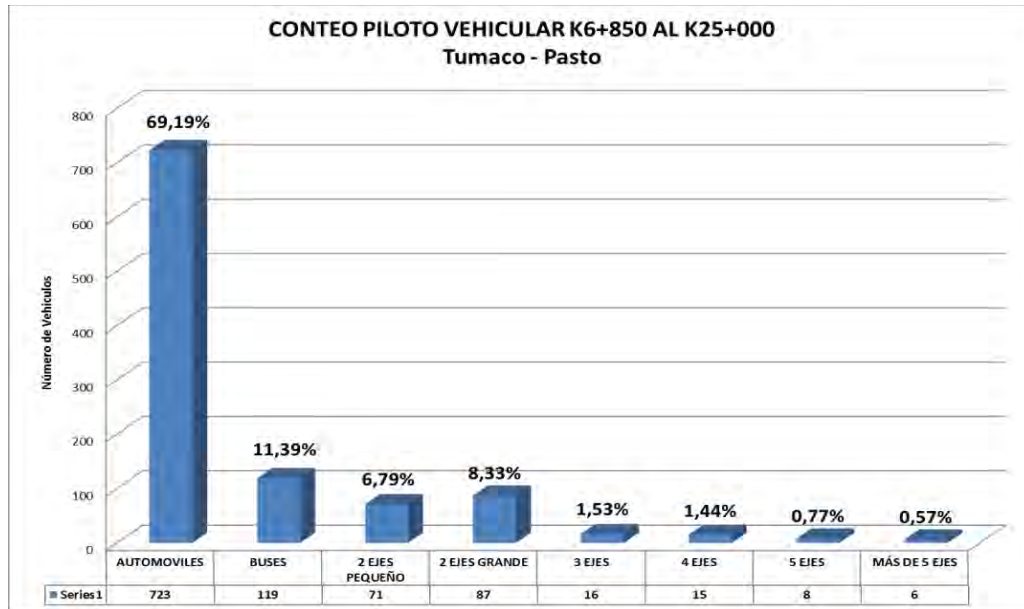
Tabla 6. Resultados conteo piloto vehicular

TIPO DE VEHICULO		TUMACO – PASTO		PASTO – TUMACO	
		TOTAL	%	TOTAL	%
CAMIONES	AUTOMOVILES	723	69,19%	689	72,15%
	BUSES	119	11,39%	89	9,32%
	2 EJES PEQUEÑO	71	6,79%	44	4,61%
	2 EJES GRANDE	87	8,33%	92	9,63%
	3 EJES	16	1,53%	16	1,68%
	4 EJES	15	1,44%	12	1,26%
	5 EJES	8	0,77%	6	0,63%
	MÁS DE 5 EJES	6	0,57%	7	0,73%
TOTALES		1045	100,00%	955	100,00%

Gráfica 1. Conteo piloto vehicular k6+850. Pasto – Tumaco



Gráfica 2. Conteo piloto vehicular k6+850. Tumaco - Pasto



Estación 1135

Transito Promedio Diario Semanal: 1432

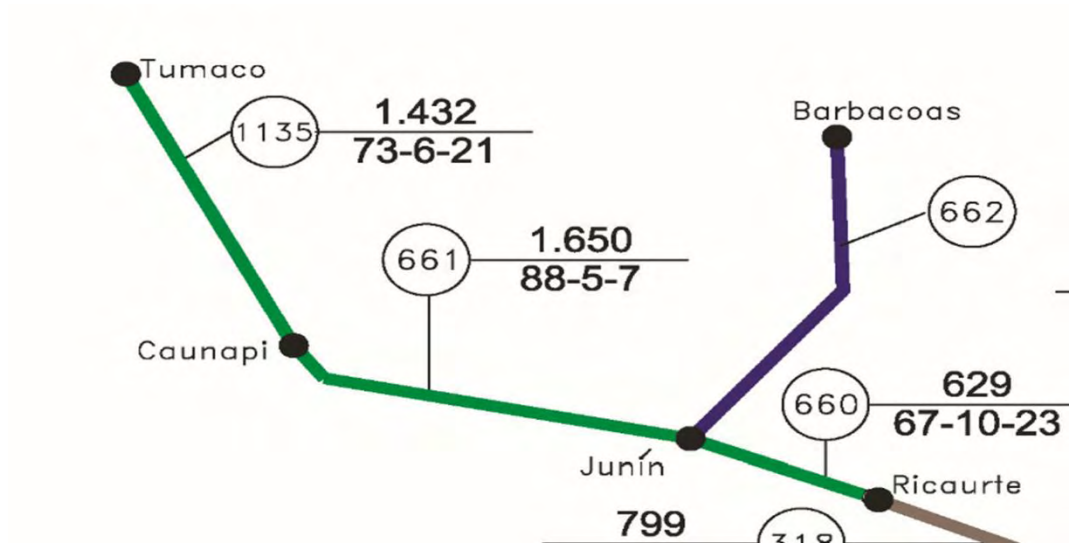
El cual corresponde a Autos, Buses, Camiones

Autos: 73%

Buses: 6%

Camiones: 21%

Imagen 2. Volumen de tránsito promedio diario semanal. Nariño – INVIAS



Fotografía 3. Automóvil tipo



Fotografía 4. Bus tipo



Fotografía 5. Camión tipo C2 ejemplo 1



Fotografía 6. Camión tipo C2 ejemplo 2



2.5 TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA (N).

Cuando se miden velocidades puntuales no interesa la velocidad de los vehículos que se observan específicamente, sino la velocidad representativa del total de vehículos que pasaron por un punto y que van a pasar mientras las condiciones no cambien significativamente, es decir de la población de vehículos. Como es imposible medir la velocidad de toda la población, se observa una parte de ella, denominada muestra y de las características de ésta se infieren las características de la población. Sin embargo, esta metodología produce errores de inferencia en los valores estimados, errores que disminuyen con el tamaño de la muestra, es decir, con el número de observaciones particulares realizadas. Para tener una certeza de que los parámetros inferidos contengan únicamente errores tolerables, se establece un tamaño mínimo para la muestra, dado por⁵:

$$N = \frac{S^2 K^2 (2 + U^2)}{2E^2}$$

⁵ CAL Y MAYOR, Rafael; CARDENAS, James. Ingeniería de Transito. Fundamentos y aplicaciones. 8ed. México D.F: Editorial Alfaomega, 2007.p.262.

N: Tamaño mínimo de la muestra (cantidad de vehículos)
 S: Desviación estándar estimada de la muestra
 K: Constante correspondiente a un nivel de confianza deseado
 E: Error permitido en la estimación de la velocidad
 U: Constante correspondiente a la velocidad estadística deseada
 Para velocidad media, usar 0.00
 Para el 15 o el 85 porcentual, usar 1.04
 Para el 5 o el 95 porcentual, usar 1.64 (Box y Oppenlander, 1976)

2.5.1 Desviación normal (S). Si no existen estudios referentes a la determinación de la desviación normal de las velocidades de punto del lugar en estudio, se puede obtener un valor estimado de la siguiente tabla de acuerdo al tipo de tránsito y al tipo de camino o vía.

Tabla 7. Desviaciones normales de velocidades de punto para la determinación del tamaño de la muestra.

Tipo de Tránsito	Tipo de Camino	Desviación Normal Promedio	
		Km/h	mi/h
Rural	Dos carriles	8.5	5.3
Rural	Cuatro carriles	6.8	4.2
Intermedio	Dos carriles	8.5	5.3
Intermedio	Cuatro carriles	8.5	5.3
Urbano	Dos carriles	7.7	4.8
Urbano	Cuatro carriles	7.9	4.9
Valor redondeado		8.0	5.0

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito.

2.5.2 Constante de confiabilidad (K). Por lo general se emplea un valor de K = 2.00 para un nivel de confiabilidad del 95.5%, su valor determina la probabilidad de que la velocidad media, sea una estimación válida.

Tabla 8. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Constante K	Nivel de Confiabilidad (por ciento)
1.00	68.3
1.50	86.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Fuente: Box y Oppenlander. Manual de Estudios de Ingeniería de Transito.

2.6 FORMATO PARA LA CAPTURA DE INFORMACIÓN EN CAMPO

2.6.1 Formato general

2.6.1.1 Hoja de campo. Los datos se consignarán en la Tabla 4, el observador deberá registrar la fecha, la localización, límite de velocidad, condiciones climáticas, hora de inicio, hora de finalización y tiempo inactivo. Además el registro se realizará para un número de 65 vehículos por cada clasificación, para un total de 195 vehículos en cada ubicación por cada sentido de marcha. El número de automóviles, buses y camiones, que transitan a la misma velocidad, se determina sumando horizontalmente el número de rayas registradas (cada una corresponde a un vehículo). Así mismo, la suma vertical de cualquier tipo de vehículo corresponde al número total de observaciones para ese tipo en particular. Deberá de emplearse una hoja de campo o una columna diferente para cada dirección de recorrido.

2.6.1.2 Toma de mediciones en campo. Para la ejecución del trabajo de campo se recomiendan los siguientes procesos de muestreo (Box y Oppenlander, 1976):

Tabla 9. Ejemplo de formulario de recolección de datos para estudio

Fecha: DD/MM/AAAA				Hora de inicio: 07:00			
Nombre: John Doe				Hora de finalización: 07:25			
Lugar: Calle 6° y Main Street				Tiempo de inactividad: ninguno			
Límite de velocidad: 35 mph				Clima: despejado			
Velocidad	Automóviles		Buses		Camiones		Total
	Registro	No.	Registro	No.	Registro	No.	
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21	II	2					2
22					I	1	1
23	I	1			II	2	3
24	I III	4					4
25	I	1					1
26	I II	3					3
27	II	2			I	1	3
28	II	2					2
29	I IIII	5	II	2			7
30	II	2			I	1	3
31	I II	3					3
32	I IIII	5					5
33	I II	3					3
34	I II	3	I	1	I	1	5
35	I IIII	6			II	2	8
36	I IIII	6					6
37	I IIII	6			II	2	8
38	I III	4					4
39	I IIII	6					6
40	I III	4					4
41	I IIII	5			II	2	7
42	I II	3					3
43	II	2					2
44	I III	4					4
45	II	2					2
46							
47	I	1					1
48							
49							
50							
Total							100

2.7 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DATOS

Las velocidades de punto en los diferentes elementos geométricos del tramo en estudio se realizaron con la utilización de la pistola radar Stalker, la cual facilita esta operación.

- Tomar medidas aleatorias y representativas.
- Realizar las mediciones con condiciones climáticas buenas con un buen flujo libre de vehículos.
- Cuando se presenten colas, solo se medirá la velocidad del primer vehículo en la fila.
- El enfoque de la pistola radar debe conservar la perpendicularidad para no producir errores por coseno.

3. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTUDIADOS

En la Tabla 10 se presentan las características de los elementos del tramo de estudio; el acotado, tipo de elemento, radio de curvas, longitud de los elementos y las pendientes que se obtuvieron directamente de los planos suministrados por el INVIAS, la velocidad de diseño en km/h y la velocidad específica km/h.

Tabla 10. Características de los elementos

TRAMO K6 +850 AL K25 +000 DE LA VIA TUMACO - PASTO									
DIRECCION DE TRAFICO : TUMACO-PASTO Y PASTO-TUMACO									
ELEMENTO	ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. DISEÑO (Km/h)	V. ESPECIFIC. (Km/h)
	INICIO	FIN							
1	K 6+850	K 7+000	CURVA	150,00	150,00	0,11	5,58	60	70
2	K 7+000	K 7+150	CURVA	150,00	150,00	0,11	5,58	60	70
3	K 7+150	K 7+350	TANGENTE		200,00	0,11		60	70
4	K 7+350	K 7+450	TANGENTE		100,00	0,11		60	70
5	K 7+450	K 7+600	TANGENTE		150,00	0,11		60	70
6	K 7+600	K 8+000	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	60	70
7	K 8+000	K 8+400	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	60	70
8	K 8+400	K 9+000	TANGENTE		600,00	-0,04		60	70
9	K 9+000	K 9+500	TANGENTE		500,00	-0,04		60	70
10	K 9+500	K 10+000	TANGENTE		500,00	0,00		60	70
11	K 10+000	K 10+500	TANGENTE		500,00	0,00		60	70
12	K 10+500	K 11+000	TANGENTE		500,00	0,00		60	70
13	K 11+000	K 11+500	TANGENTE		500,00	0,00		60	70
14	K 11+500	K 12+000	TANGENTE		500,00	0,07		60	70
15	K 12+000	K 12+500	TANGENTE		500,00	0,07		60	70
16	K 12+500	K 13+000	TANGENTE		500,00	0,07		60	70
17	K 13+000	K 13+500	TANGENTE		500,00	0,07		60	70
18	K 13+500	K 14+000	TANGENTE		500,00	0,01		60	70
19	K 14+000	K 14+500	TANGENTE		500,00	0,01		60	70
20	K 14+500	K 15+000	TANGENTE		500,00	0,01		60	70
21	K 15+000	K 15+500	TANGENTE		500,00	0,01		60	70
22	K 15+500	K 16+000	TANGENTE		500,00	0,01		60	70
23	K 16+000	K 16+200	TANGENTE		200,00	0,01		60	70
24	K 16+200	K 16+500	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	60	70
25	K 16+500	K 16+800	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	60	70
26	K 16+800	K 17+000	TANGENTE		200,00	0,01		60	70
27	K 17+000	K 17+500	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
28	K 17+500	K 18+000	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
29	K 18+000	K 18+500	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
30	K 18+500	K 19+000	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
31	K 19+000	K 19+500	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
32	K 19+500	K 20+000	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
33	K 20+000	K 20+500	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
34	K 20+500	K 21+000	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
35	K 21+000	K 21+500	TANGENTE		500,00	-0,00		60	70
36	K 21+500	K 22+000	TANGENTE		500,00	0,23		60	70
37	K 22+000	K 22+500	TANGENTE		500,00	0,23		60	70
38	K 22+500	K 23+000	TANGENTE		500,00	0,23		60	70
39	K 23+000	K 23+500	TANGENTE		500,00	0,23		60	70
40	K 23+500	K 24+000	TANGENTE		500,00	0,23		60	70
41	K 24+000	K 24+500	TANGENTE		500,00	-0,16		60	70
42	K 24+500	K 25+000	TANGENTE		500,00	-0,16		60	70

3.2 CALCULO DEL PERCENTIL 85

Corresponde al valor de la velocidad en la ojiva porcentual cuando la frecuencia acumulada relativa vale 85 %.

El cálculo de este valor se realizó en los tres tipos de vehículos en estudio, es decir, autos, buses y camiones C2, en ambos sentidos de operación de la vía (Tumaco – Pasto y Pasto - Tumaco).

Para calcular el percentil 85 de los datos digitados correspondientes a las velocidades de punto de los vehículos, primero se ordenan de mayor a menor velocidad encontrando así el punto que corresponde al 85% de los datos, así:

$$V_{85} = \frac{N \times 85}{100}$$

Dónde: N: número de muestras (65 vehículos)

$$V_{85} = \frac{65 \times 85}{100} = 55.25$$

La velocidad del percentil 85 estará en la posición 55.25 contando de menor a mayor.

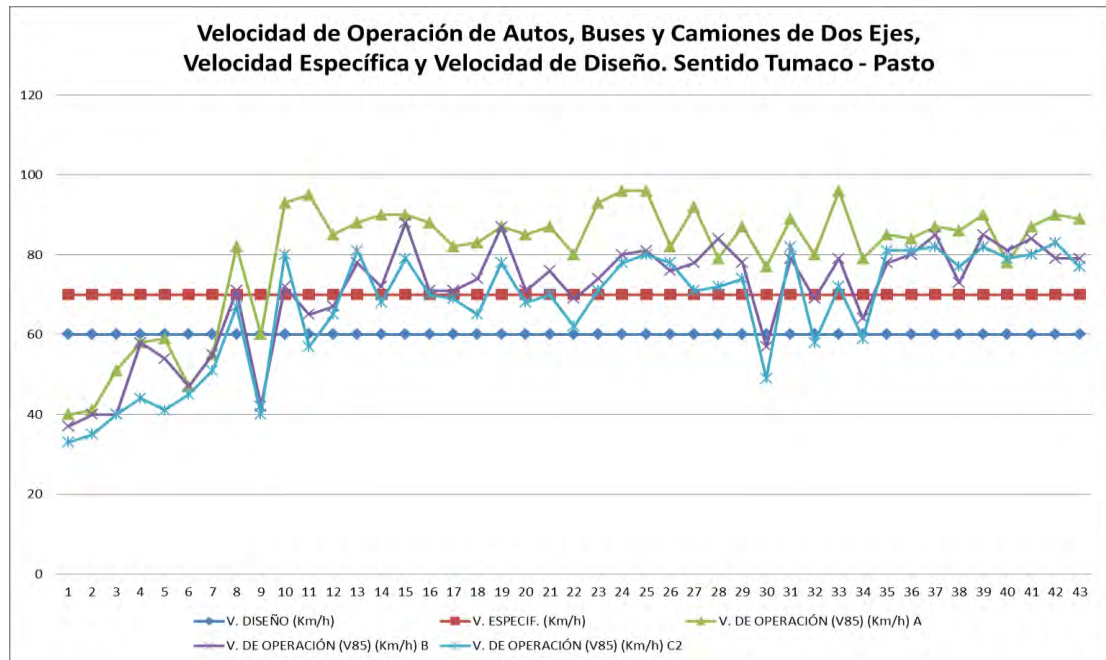
3.3 VELOCIDAD DE DISEÑO, VELOCIDAD ESPECÍFICA, VELOCIDAD DEL PERCENTIL 85 Y SUS RESPECTIVAS COMPARACIONES

Comparación el valor de la velocidad de operación con la velocidad específica de cada elemento, comparamos también las velocidades del percentil 85 de un elemento y la del elemento inmediatamente anterior (n-1).

Tabla 11. Velocidad de diseño, velocidad específica, velocidad del percentil 85 y sus comparaciones. Sentido Tumaco – Pasto

TRAMO K6+850 AL K25+000 DE LA VIA TUMACO - PASTO												
DIRECCION DE TRAFICO : TUMACO-PASTO												
ELEMENTO	ABSCISA	V. DISEÑO (Km/h)	V. ESPECIF. (Km/h)	V. DE OPERACIÓN (V85) (Km/h)			DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V.E (Km/h)			DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V85 (n-1) (Km/h)		
				A	B	C2	A	B	C2	A	B	C2
1	K 6+850	60	70	40	37	33	-30	-33	-37	-	-	-
2	K 7+000	60	70	41	40	35	-29	-30	-35	1	3	2
3	K 7+150	60	70	51	40	40	-19	-30	-30	10	0	5
4	K 7+350	60	70	58	58	44	-12	-12	-26	7	18	4
5	K 7+450	60	70	59	54	41	-11	-16	-29	1	-4	-3
6	K 7+600	60	70	47	47	45	-23	-23	-25	-12	-7	4
7	K 8+000	60	70	55	55	51	-15	-15	-19	8	8	6
8	K 8+400	60	70	82	71	67	12	1	-3	27	16	16
9	K 9+000	60	70	60	42	40	-10	-28	-30	-22	-29	-27
10	K 9+500	60	70	93	72	80	23	2	10	33	30	40
11	K 10+000	60	70	95	65	57	25	-5	-13	2	-7	-23
12	K 10+500	60	70	85	67	65	15	-3	-5	-10	2	8
13	K 11+000	60	70	88	78	81	18	8	11	3	11	16
14	K 11+500	60	70	90	72	68	20	2	-2	2	-6	-13
15	K 12+000	60	70	90	88	79	20	18	9	0	16	11
16	K 12+500	60	70	88	71	70	18	1	0	-2	-17	-9
17	K 13+000	60	70	82	71	69	12	1	-1	-6	0	-1
18	K 13+500	60	70	83	74	65	13	4	-5	1	3	-4
19	K 14+000	60	70	87	87	78	17	17	8	4	13	13
20	K 14+500	60	70	85	71	68	15	1	-2	-2	-16	-10
21	K 15+000	60	70	87	76	70	17	6	0	2	5	2
22	K 15+500	60	70	80	69	62	10	-1	-8	-7	-7	-8
23	K 16+000	60	70	93	74	71	23	4	1	13	5	9
24	K 16+200	60	70	96	80	78	26	10	8	3	6	7
25	K 16+500	60	70	96	81	80	26	11	10	0	1	2
26	K 16+800	60	70	82	76	78	12	6	8	-14	-5	-2
27	K 17+000	60	70	92	78	71	22	8	1	10	2	-7
28	K 17+500	60	70	79	84	72	9	14	2	-13	6	1
29	K 18+000	60	70	87	78	74	17	8	4	8	-6	2
30	K 18+500	60	70	77	57	49	7	-13	-21	-10	-21	-25
31	K 19+000	60	70	89	79	82	19	9	12	12	22	33
32	K 19+500	60	70	80	69	58	10	-1	-12	-9	-10	-24
33	K 20+000	60	70	96	79	72	26	9	2	16	10	14
34	K 20+500	60	70	79	64	59	9	-6	-11	-17	-15	-13
35	K 21+000	60	70	85	78	81	15	8	11	6	14	22
36	K 21+500	60	70	84	80	81	14	10	11	-1	2	0
37	K 22+000	60	70	87	85	82	17	15	12	3	5	1
38	K 22+500	60	70	86	73	77	16	3	7	-1	-12	-5
39	K 23+000	60	70	90	85	82	20	15	12	4	12	5
40	K 23+500	60	70	78	81	79	8	11	9	-12	-4	-3
41	K 24+000	60	70	87	84	80	17	14	10	9	3	1
42	K 24+500	60	70	90	79	83	20	9	13	3	-5	3
43	K 25+000	60	70	89	79	77	19	9	7	-1	0	-6

Gráfica 3. Velocidad de operación de autos, buses y camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto

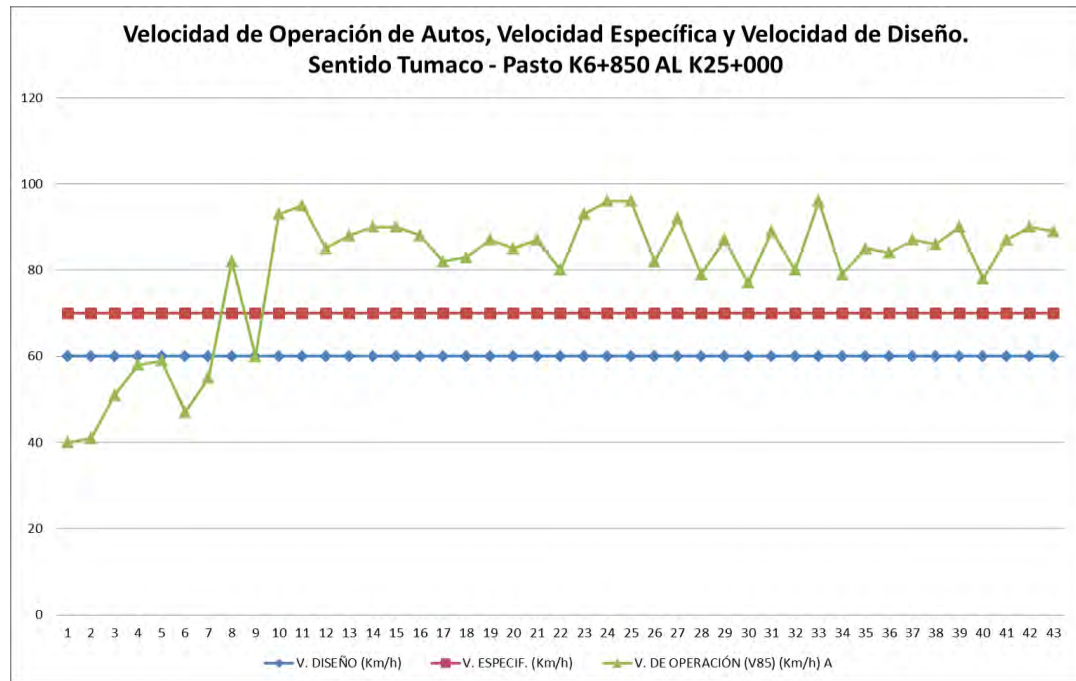


La gráfica No.3, muestra el comportamiento que tuvieron los tres tipos de vehículos en estudio (autos, buses y camiones C2), describiendo la velocidad de operación de los vehículos comparados con la velocidad de diseño y la velocidad específica del tramo.

Esta gráfica también se identifica como los autos alcanzaron las mayores velocidades de operación, los buses y camiones C2 presentaron un comportamiento similar pero con velocidades menores en todo el tramo de estudio.

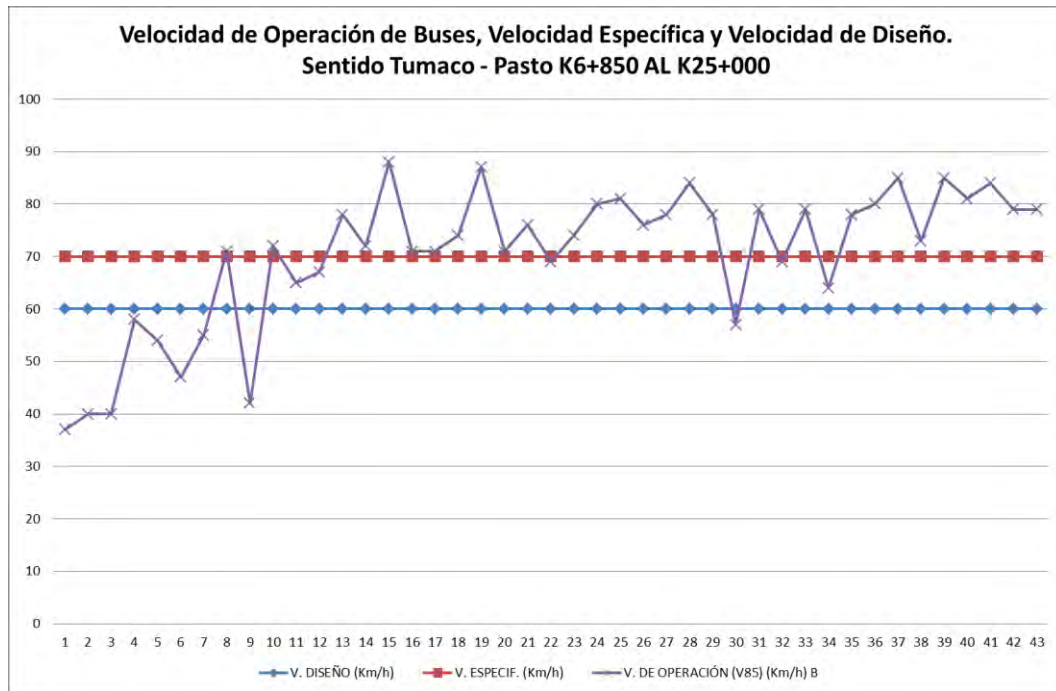
El punto 9 (K9+000) registra cambio brusco de velocidad de operación para los tres tipos de vehículos. En el punto 30 (K18+500) también se presentan cambios bruscos de velocidad de operación para los vehículos tipo buses y camiones C2.

Gráfica 4. Velocidad de operación de autos, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto.



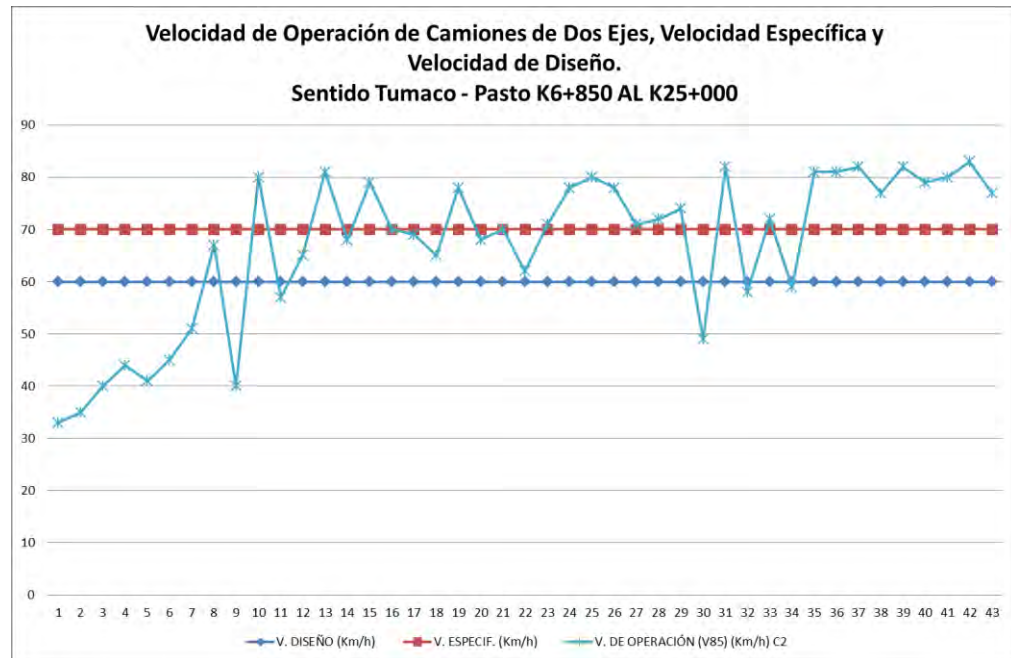
La gráfica No.4., muestra el comportamiento únicamente de los autos durante todo el tramo en estudio, iniciando con una velocidad 40 km/h mucho menor a la velocidad de diseño, incrementándose hasta una velocidad de 55 km/h en el punto 5 (K7+450), a partir de este punto se presenta un decrecimiento hasta el punto 6 (K7+600) y en adelante hasta el punto 43 (K25+000) se presentan algunas variaciones de velocidad que en conjunto son superiores a la velocidad de diseño.

Gráfica 5. Velocidad de operación de buses, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto



La gráfica No.5., Muestra que los vehículos tipo buses iniciaron con una velocidad de operación bastante baja en el inicio del tramo en estudio, registrando velocidades de operación de 37 km/h aumentando hasta el punto 8 (K8+400) con una velocidad de 82 km/h para luego descender en el punto 9 (K9+000) a 42 km/h. A partir de este punto las velocidades son superiores a la velocidad de diseño y la velocidad específica.

Gráfica 6. Velocidad de operación de camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Tumaco – Pasto



En la gráfica No.6. Los vehículos tipo camión C2 presentan un incremento en la velocidad desde el punto No.1 (K6+850) de 33 km/h al inicio llegando al punto 8 (K8+400) con 67 km/h, en el punto 9 (K9+000) se presenta un cambio brusco en el comportamiento de las velocidades, descendiendo a 40 km/h.

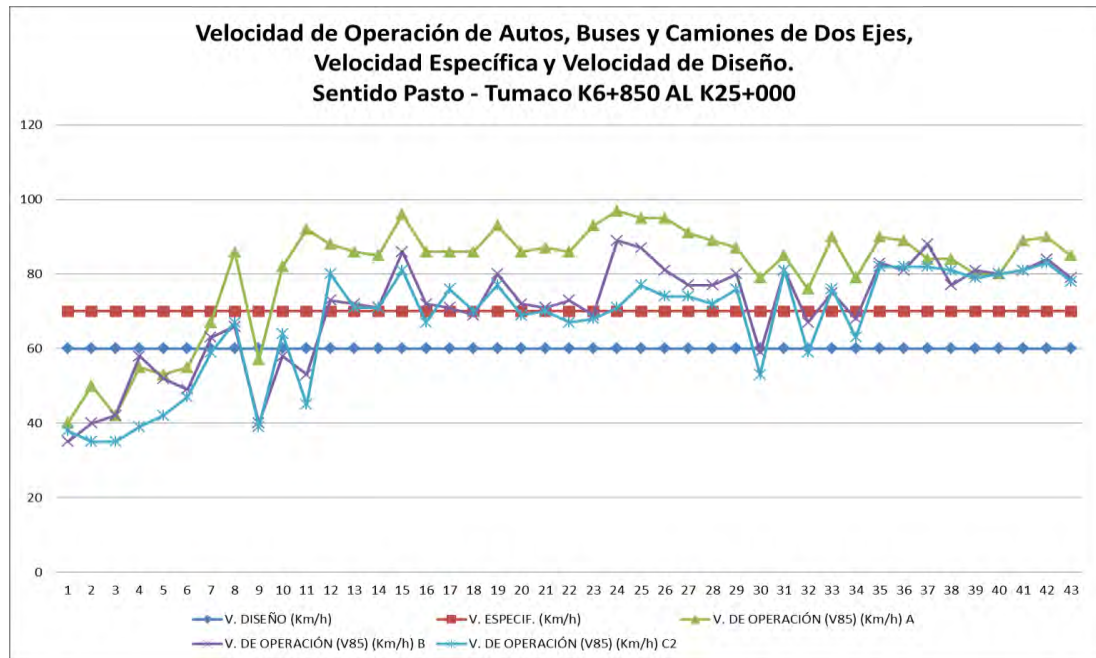
Entre el punto 9 (K9+000) y el 10 (K9+500) hay una diferencia muy notoria de 40km/h., a partir del punto 11 (K10+000) donde la velocidad de operación fue de 57 km/h se presenta un aumento significativo en la velocidad de operación superando la velocidad de diseño a excepción del punto 30 (K18+500) en el que se registra una velocidad de 49 km/h.

A partir del punto 35 (K21+000) la velocidad de operación se incrementa considerablemente con una velocidad mínima de 74 km/h y velocidades de operación máximas de 85 km/h.

Tabla 12. Velocidad de diseño, velocidad específica, velocidad del percentil 85 y sus respectivas comparaciones. Sentido Pasto – Tumaco

TRAMO K6+850 AL K25 +000 DE LA VIA TUMACO - PASTO												
DIRECCION DE TRAFICO : PASTO - TUMACO												
ELEMENTO	ABSCISA	V. DISEÑO (Km/h)	V. ESPECIF. (Km/h)	V. DE OPERACIÓN (V85) (Km/h)			DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V.E (Km/h)			DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V85 (n-1) (Km/h)		
				A	B	C2	A	B	C2	A	B	C2
1	K 6+850	60	70	40	35	38	-30	-35	-32	-	-	-
2	K 7+000	60	70	50	40	35	-20	-30	-35	10	5	-3
3	K 7+150	60	70	42	42	35	-28	-28	-35	-8	2	0
4	K 7+350	60	70	55	58	39	-15	-12	-31	13	16	4
5	K 7+450	60	70	53	52	42	-17	-18	-28	-2	-6	3
6	K 7+600	60	70	55	49	47	-15	-21	-23	2	-3	5
7	K 8+000	60	70	67	63	59	-3	-7	-11	12	14	12
8	K 8+400	60	70	86	66	67	16	-4	-3	19	3	8
9	K 9+000	60	70	57	40	39	-13	-30	-31	-29	-26	-28
10	K 9+500	60	70	82	58	64	12	-12	-6	25	18	25
11	K 10+000	60	70	92	53	45	22	-17	-25	10	-5	-19
12	K 10+500	60	70	88	73	80	18	3	10	-4	20	35
13	K 11+000	60	70	86	72	71	16	2	1	-2	-1	-9
14	K 11+500	60	70	85	71	71	15	1	1	-1	-1	0
15	K 12+000	60	70	96	86	81	26	16	11	11	15	10
16	K 12+500	60	70	86	72	67	16	2	-3	-10	-14	-14
17	K 13+000	60	70	86	71	76	16	1	6	0	-1	9
18	K 13+500	60	70	86	69	70	16	-1	0	0	-2	-6
19	K 14+000	60	70	93	80	77	23	10	7	7	11	7
20	K 14+500	60	70	86	72	69	16	2	-1	-7	-8	-8
21	K 15+000	60	70	87	71	70	17	1	0	1	-1	1
22	K 15+500	60	70	86	73	67	16	3	-3	-1	2	-3
23	K 16+000	60	70	93	69	68	23	-1	-2	7	-4	1
24	K 16+200	60	70	97	89	71	27	19	1	4	20	3
25	K 16+500	60	70	95	87	77	25	17	7	-2	-2	6
26	K 16+800	60	70	95	81	74	25	11	4	0	-6	-3
27	K 17+000	60	70	91	77	74	21	7	4	-4	-4	0
28	K 17+500	60	70	89	77	72	19	7	2	-2	0	-2
29	K 18+000	60	70	87	80	76	17	10	6	-2	3	4
30	K 18+500	60	70	79	59	53	9	-11	-17	-8	-21	-23
31	K 19+000	60	70	85	81	81	15	11	11	6	22	28
32	K 19+500	60	70	76	67	59	6	-3	-11	-9	-14	-22
33	K 20+000	60	70	90	75	76	20	5	6	14	8	17
34	K 20+500	60	70	79	68	63	9	-2	-7	-11	-7	-13
35	K 21+000	60	70	90	83	82	20	13	12	11	15	19
36	K 21+500	60	70	89	81	82	19	11	12	-1	-2	0
37	K 22+000	60	70	84	88	82	14	18	12	-5	7	0
38	K 22+500	60	70	84	77	81	14	7	11	0	-11	-1
39	K 23+000	60	70	80	81	79	10	11	9	-4	4	-2
40	K 23+500	60	70	80	80	80	10	10	10	0	-1	1
41	K 24+000	60	70	89	81	81	19	11	11	9	1	1
42	K 24+500	60	70	90	84	83	20	14	13	1	3	2
43	K 25+000	60	70	85	79	78	15	9	8	-5	-5	-5

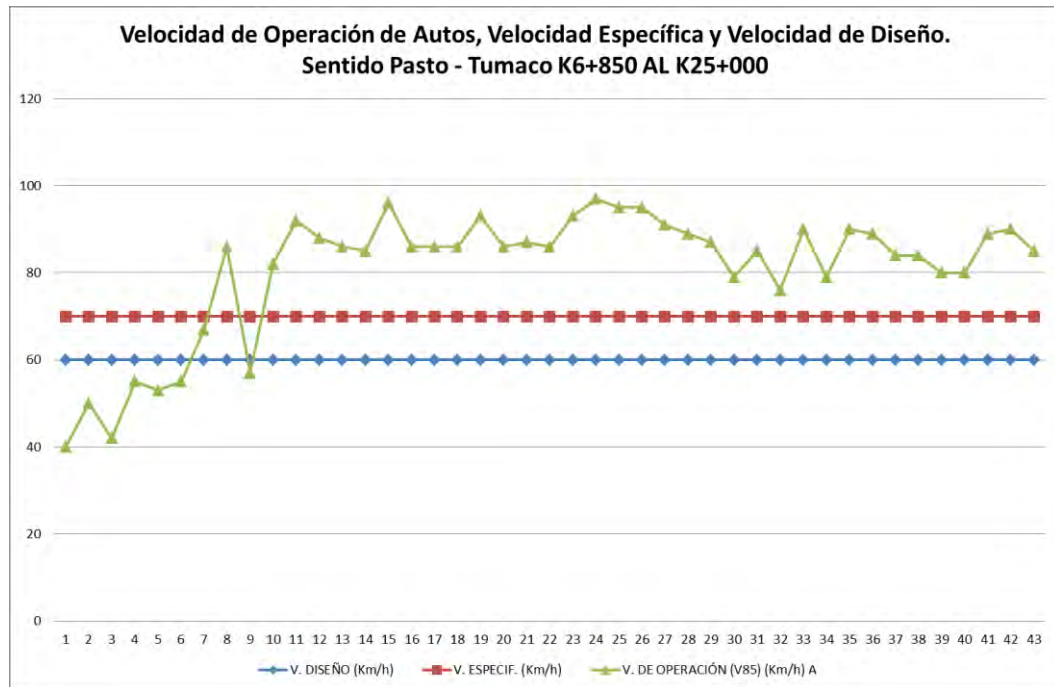
Gráfica 7. Velocidad de operación de autos, buses y camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco



La grafica No.7., Muestra el comportamiento que tuvieron los tres tipos de vehículos en estudio (autos, buses y camiones C2), describiendo la velocidad de operación de los vehículos comparados con la velocidad de diseño y la velocidad específica del tramo.

Los puntos 9 (K9+000), 11 (K10+000), 30 (K18+500), 32 (K19+500) y 34 (K20+500) fueron puntos de cambios bruscos en la velocidad de operación. Los vehículos tipo autos alcanzaron las mayores velocidades de operación, a partir del punto 12 (K10+500) hasta el punto 29 (K18+000) la variación en la velocidad de operación se incrementa.

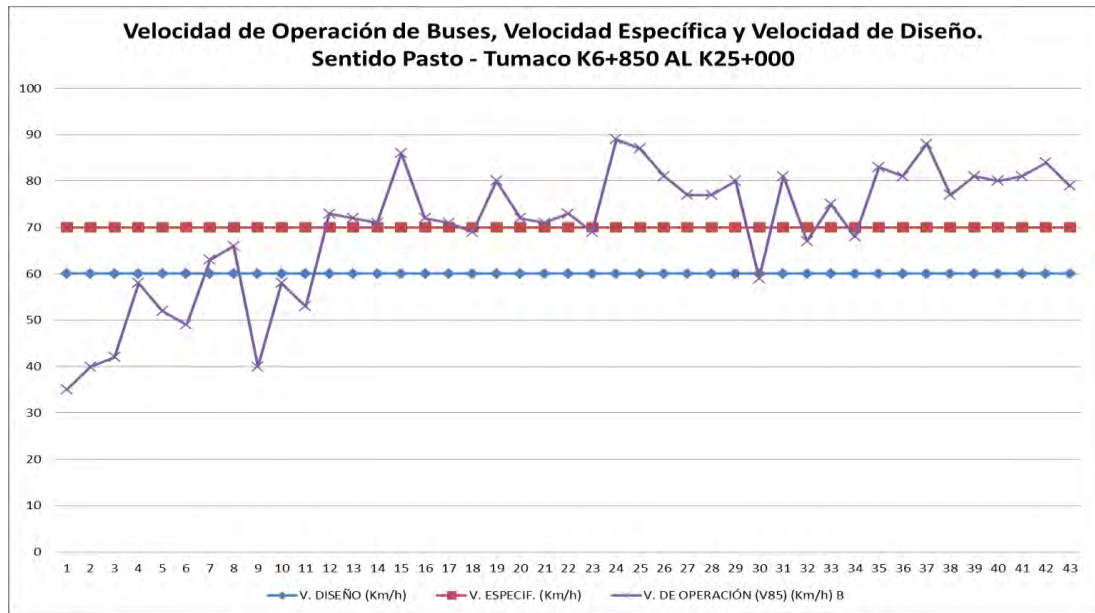
Gráfica 8. Velocidad de operación de autos, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco



La grafica No.8., muestra el comportamiento de únicamente de los autos, al inicio del tramo (K6+850) con una velocidad de 40 km/h mucho menor a la velocidad de diseño, incrementándose hasta una velocidad de 86 km/h. en el punto 8 (K8+400).

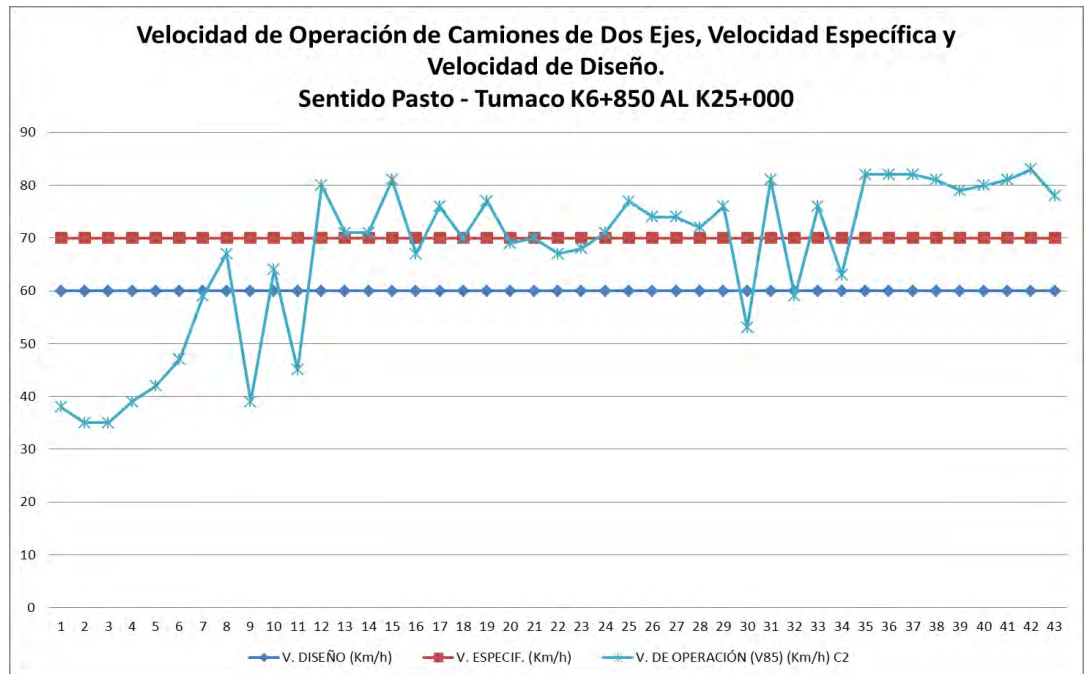
El punto 9 (K9+000) presenta un descenso en 57 km/h en la velocidad de operación registrando una velocidad menor a la velocidad de diseño y velocidad específica.

Gráfica 9. Velocidad de operación de buses, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco



En la gráfica No.9., Los vehículos tipo buses iniciaron con una velocidad de operación bastante baja en el inicio del tramo en estudio, registrando velocidades de operación en el punto 1 (K6+850) de 35 km/h, que van aumentando hasta el punto 8 (K8+400) con una velocidad de 66 km/h, para luego descender en el punto 9 (K9+000) a 40 km/h a partir de este punto inicia el incremento de velocidades superiores a la velocidad de diseño y la velocidad específica.

Gráfica 10. Velocidad de operación de camiones C2, velocidad específica y velocidad de diseño. Sentido Pasto – Tumaco



La gráfica No.10., muestra que los vehículos tipo camión C2 iniciaron con una velocidad de operación de 38 km/h en el punto 1 (K6+850) descendiendo a 35 km/h hasta el punto 3 (K7+150). En el punto 4 (K7+350) se registró un aumento en la velocidad de operación de 39 km/h. El punto 9 (K9+000) presenta un cambio brusco en el comportamiento en la velocidad de operación descendiendo a 39 km/h para luego aumentar a 64 km/h. en el punto 10 (K9+500), a partir del punto 11 (K10+000) donde la velocidad de operación fue de 45 km/h se presenta un aumento significativo en la velocidad de operación superando la velocidad de diseño y velocidad específica a excepción del punto 30 (K18+500) que registra una velocidad de 53 km/h.

3.4 DESVIACIONES ESTÁNDAR

Calculada la velocidad de operación se continúa con el cálculo de la desviación estándar, luego se calcula la desviación estándar promedio para cada tipo de vehículo, en ambos sentidos de la vía.

Tabla 13. Desviación estándar promedio

DESVIACIONES ESTANDAR PROMEDIO		
VEHICULO	SENTIDO	
	TUMACO – PASTO	PASTO – TUMACO
AUTOMOVILES	13.863	13.330
BUSES	11.933	11.815
CAMIONES C2	12.558	12.167

3.5 ACCIDENTALIDAD EN EL TRAMO ESTUDIADO 2012 Y 2013

Uno de los indicadores que muestra que tan buena consistencia vial tiene una carretera es el número de accidentes que se presenta en ella.

Es por eso que se hace necesario consultar los datos de accidentalidad que ocurren en el tramo de estudio.

Se consultaron datos de accidentalidad correspondiente al año 2012 y hasta el mes de marzo de 2013.

Los datos de accidentalidad fueron suministrados por la Oficina de Tránsito y Transporte de Tumaco y la Policía de Carreteras.

Tabla 14. Accidentes de tránsito año 2012 hasta marzo de 2013

FECHA	ABCISA	TIPO DE NOVEDAD	NUMERO DE HERIDOS		PERSONAS MUERTAS	CAUSA
			LEVES	GRAVES		
12/12/2011	K7+300	Choque	2			Contravía
08/01/2012	K10+600	Atropellado	2			Imprudencia peatonal
09/01/2012	K21+000	Atropellado	1			Imprudencia peatonal
11/02/2012	K9+400	Atropellado	1			Imprudencia peatonal
15/02/2012	K16+000	Choque	1			Sobrepaso indebido
19/02/2012	K9+000	Choque	0	1		Embriaguez
04/03/2012	K20+000	Choque	1			Imprudencia motociclista
16/03/2012	K9+800	Atropellado			1	Falta de señalización vial
14/03/2012	K9+150	Atropellado	2			Imprudencia peatón
18/03/2012	K9+200	Atropellado	2			Imprudencia automóvil
21/03/2012	K7+500	Caída Pasajero		1		Imprudencia automóvil
29/03/2012	K10+500	Choque				Imprudencia automóvil
20/03/2012	K22+000	Atropellado		1		Imprudencia peatón
02/04/2012	K15+500	Choque	2			Exceso de velocidad
02/04/2012	K8+200	Choque				No mantener distancia de seguridad
01/03/2012	K16+000	Choque				Falla humana
12/04/2012	K10+800	Choque	2			Invasión carril
14/04/2012	K14+000	Choque	2			Invasión de carril
19/04/2012	K7+500	Choque				Salida de calzada
01/05/2012	K16+000	Choque		2		Salida de calzada
07/05/2012	K22+000	Choque		1		Cruzar sin observar
14/05/2012	K12+600	Choque				Reversa con imprudencia
16/05/2012	K17+000	Choque	2	1	1	Desobedecer señales de tránsito de pare
18/05/2012	K18+000	Choque	1			Cambio de carril sin direccionales
27/05/2012	K18+100	Atropellado		3		Embriaguez
10/06/2012	K22+000	Atropellado	1			Cruzar sin observar
11/05/2012	K10+600	Choque	2			Embriaguez - Exceso de velocidad
10/05/2012	K17+500	Choque		1		Giro prohibido
12/05/2012	K20+300	Choque				No mantener distancia de seguridad
13/05/2012	K19+000	Atropellado	2			Imprudencia peatonal
16/05/2012	K15+000	Atropellado	2			Embriaguez
17/05/2012	K24+000	Atropellado	1			Imprudencia peatón
23/05/2012	K22+000	Atropellado		1		Embriaguez
23/05/2012	K14+000	Atropellado		1		Imprudencia peatón
12/07/2012	K12+000	Atropellado		1		Imprudencia peatón
14/07/2012	K7+000	Atropellado				Embriaguez
22/07/2012	K13+500	Atropellado	2			Imprudencia peatón
28/07/2012	K7+000	Choque			1	Exceso de velocidad
04/08/2012	K15+500	Atropellado		1		Imprudencia motociclista
06/08/2012	K9+000	Choque				Embriaguez
08/08/2012	K23+300	Choque				Imprudencia conductor
11/08/2012	K9+000	Choque				Imprudencia conductor
15/08/2012	K8+500	Atropellado		1		No respetar prelación
21/08/2012	K12+500	Atropellado				Cambio de carril sin indicación
15/09/2012	K7+000	Choque				Arrancar si precaución
20/09/2012	K10+000	Choque				Adelantar invadiendo carril
22/09/2012	K25+000	Choque				Imprudencia peatón
20/09/2012	K17+300	Atropellado	1			Pérdida de control al conducir el vehículo
30/09/2012	K15+000	Choque				Conducir en estado de embriaguez
10/10/2012	K20+000	Atropellado			1	Cruzar sin observar
07/10/2012	K11+500	Choque				Embriaguez
05/10/2012	K25+000	Choque				No mantener distancia de seguridad
10/10/2012	K17+300	Choque				Cambio de carril sin indicación
23/10/2012	K21+000	Choque		1		Exceso de velocidad
23/10/2012	K18+000	Choque				Imprudencia conductor

16/11/2012	K23+000	Choque			1	Embriaguez
02/09/2012	K20+000	Atropellado				Imprudencia peatonal
12/11/2012	K8+000	Choque		1		Imprudencia
13/12/2012	K9+500	Choque				Contravía
06/12/2012	K11+000	Choque				Arrancar si precaución
23/12/2012	K24+000	Choque				Embriaguez
09/12/2012	K12+300	Choque				Embriaguez
29/12/2012	K18+000	Choque				No mantener distancia de seguridad
05/12/2012	K10+000	Atropellado			1	Imprudencia pasajero volqueta
01/12/2012	K21+000	Atropellado				Imprudencia peatón

4. ANALISIS DE DATOS

4.1 VELOCIDADES DE OPERACIÓN VS VELOCIDADES ESPECÍFICAS

El análisis de las velocidades de operación y las velocidades específicas de cada elemento del tramo en estudio se tomó como referencia el primer criterio de Lamm. Este primer criterio evalúa la consistencia bajo tres características: buena, regular y mala.

Tabla 15. Criterio I de Lamm

BUENO	REGULAR	MALA
$ V_{85} - V_d \leq 10$ [km/h]	$10 < V_{85} - V_d \leq 20$ [km/h]	$ V_{85} - V_d > 20$ [km/h]

Cuando la diferencia entre la velocidad específica del elemento y la velocidad de operación para determinado tipo de vehículo es menor o igual a 10 km/h se determina que tenemos una buena consistencia.

Si la diferencia entre velocidades es menor o igual a 20 km/h tendremos una consistencia regular.

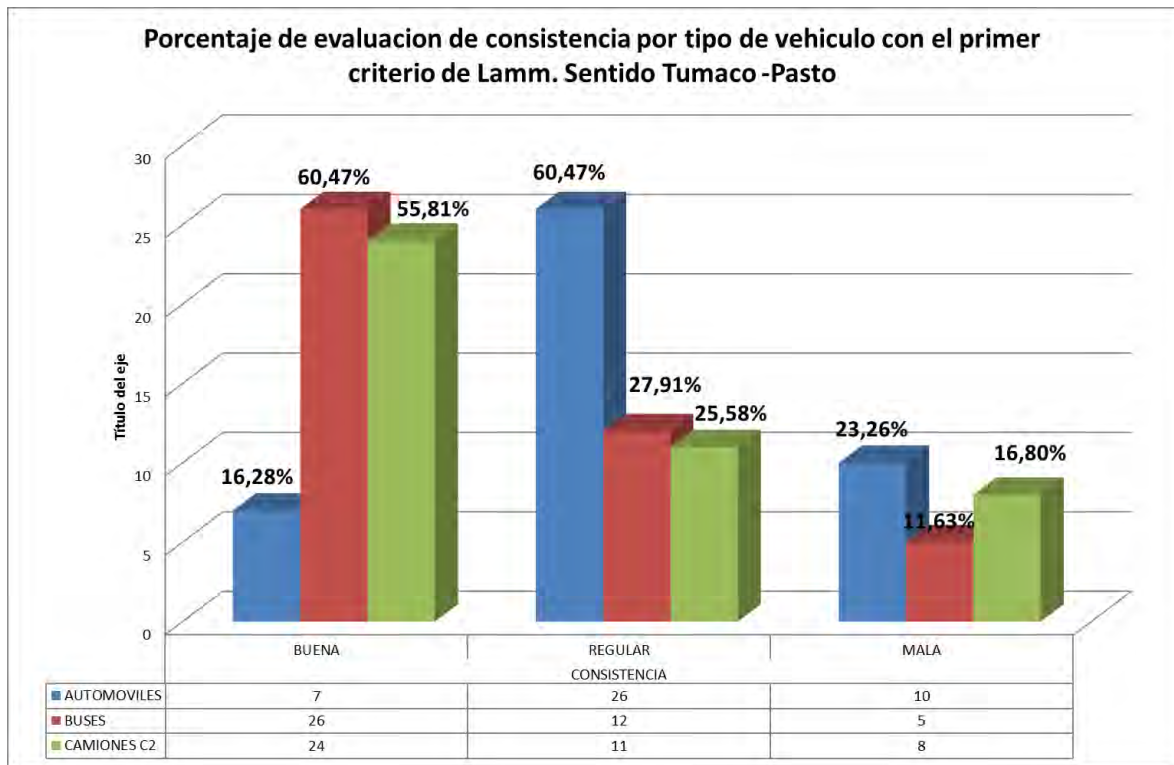
Cuando la diferencia entre velocidades es mayor que 20 km/h la consistencia es mala.

4.1.1 Resultados sentido Tumaco – Pasto

Tabla 16. Evaluación de los elementos según el primer criterio de Lamm

TUMACO - PASTO : K6+850 AL K25+000				
VEHICULOS	CONSISTENCIA			TOTAL ELEMENTOS
	BUENA	REGULAR	MALA	
AUTOMOVILES	7	26	10	43
BUSES	26	12	5	43
CAMIONES C2	24	11	8	43

Gráfica 11. Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el primer criterio de Lamm.



Realizando un análisis de los gráficos de consistencia vial por tipo de vehículo con el primer criterio de Lamm. Sentido Tumaco - Pasto se presenta el siguiente comportamiento:

En el caso de los autos alcanza un 16.28% con consistencia vial buena, con porcentaje bien significativo los autos llegan a un 60.47% con consistencia vial regular y el 23.26% con consistencia vial mala.

Para el caso de los buses las gráficas muestran que un 60.47% tiene consistencia buena, el 27.91% presenta una consistencia vial regular y un 11.63% con consistencia vial mala.

En los vehículos tipo camión C2 se presentan un 55.81% de consistencia vial buena, un 25.58% con consistencia vial regular y un 16.80% con condiciones de consistencia vial mala.

Tabla 17. Elementos en los que supera una velocidad de 80 km

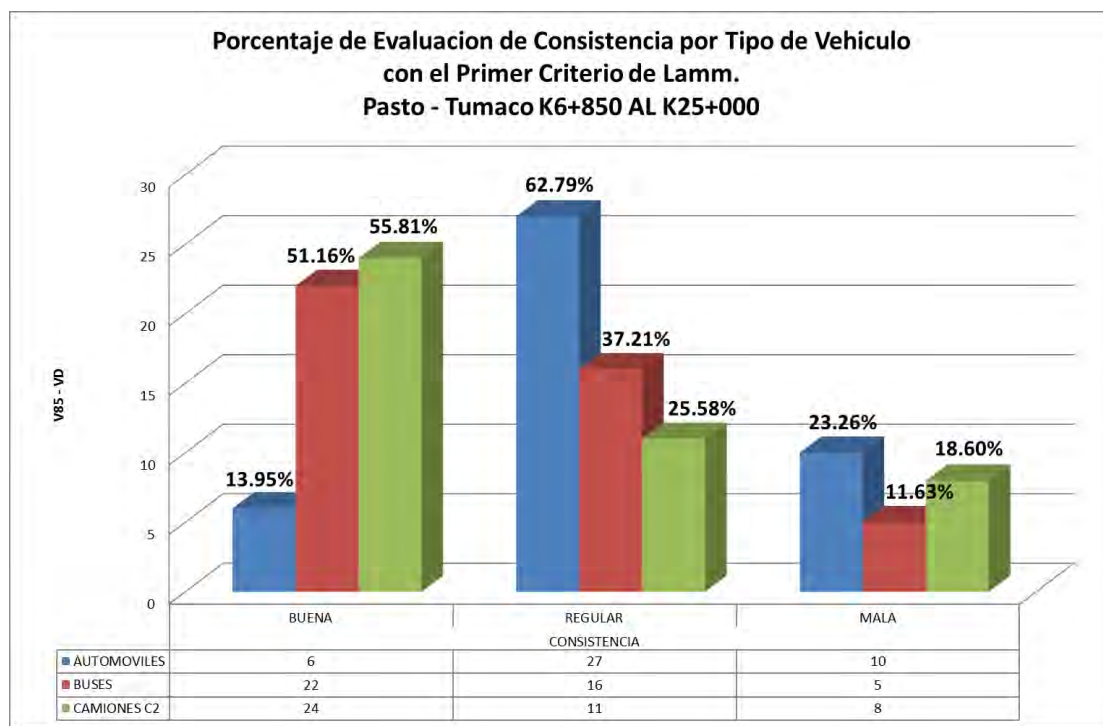
ELEMENTOS EN LOS QUE SUPERA LA VELOCIDAD REGLAMENTARIA									
DIRECCION DE TRAFICO : TUMACO-PASTO									
ELEMENTO	ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. ESPECIFIC. (Km/h)	V. OPERAC. (V85) (Km/h)
	INICIO	FIN							
7	K 8+000	K 8+400	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	70	82
9	K 9+000	K 9+500	TANGENTE		500,00	-0,04		70	93
10	K 9+500	K 10+000	TANGENTE		500,00	0,00		70	95
11	K 10+000	K 10+500	TANGENTE		500,00	0,00		70	85
12	K 10+500	K 11+000	TANGENTE		500,00	0,00		70	88
13	K 11+000	K 11+500	TANGENTE		500,00	0,00		70	90
14	K 11+500	K 12+000	TANGENTE		500,00	0,07		70	90
15	K 12+000	K 12+500	TANGENTE		500,00	0,07		70	88
16	K 12+500	K 13+000	TANGENTE		500,00	0,07		70	82
17	K 13+000	K 13+500	TANGENTE		500,00	0,07		70	83
18	K 13+500	K 14+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	87
19	K 14+000	K 14+500	TANGENTE		500,00	0,01		70	85
20	K 14+500	K 15+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	87
21	K 15+000	K 15+500	TANGENTE		500,00	0,01		70	80
22	K 15+500	K 16+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	93
23	K 16+000	K 16+200	TANGENTE		200,00	0,01		70	96
24	K 16+200	K 16+500	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	70	96
25	K 16+500	K 16+800	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	70	82
26	K 16+800	K 17+000	TANGENTE		200,00	0,01		70	92
28	K 17+500	K 18+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	87
30	K 18+500	K 19+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	89
31	K 19+000	K 19+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	80
32	K 19+500	K 20+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	96
34	K 20+500	K 21+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	85
35	K 21+000	K 21+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	84
36	K 21+500	K 22+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	87
37	K 22+000	K 22+500	TANGENTE		500,00	0,23		70	86
38	K 22+500	K 23+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	90
40	K 23+500	K 24+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	87
41	K 24+000	K 24+500	TANGENTE		500,00	-0,16		70	90
42	K 24+500	K 25+000	TANGENTE		500,00	-0,16		70	89

4.1.2 Resultados sentido Pasto – Tumaco

Tabla 18. Evaluación de los elementos según el criterio I de Lamm

PASTO - TUMACO : K6+850 AL K25+000				
VEHICULOS	CONSISTENCIA			TOTAL ELEMENTOS
	BUENA	REGULAR	MALA	
AUTOMOVILES	6	27	10	43
BUSES	22	16	5	43
CAMIONES C2	24	11	8	43

Gráfica 12. Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio I de Lamm. Sentido Pasto – Tumaco



En la gráfica se muestra que los autos alcanzaron un 13.95% de consistencia vial buena, un 62.79% de consistencia vial regular y un 23.26% de consistencia vial mala.

Para el caso de los buses se obtuvo un 51.16% de consistencia vial buena, un 37.21% de consistencia vial regular y un 11.63% de consistencia vial mala.

El comportamiento de los camiones C2 alcanzó la mayor consistencia vial buena, con un 55.81%, el porcentaje de consistencia vial regular fue de 25.58% y un 18.60% de consistencia vial mala.

Tabla 19. Elementos en los que supera una velocidad de 80 km

ELEMENTOS EN LOS QUE SUPERA LA VELOCIDAD REGLAMENTARIA									
DIRECCION DE TRAFICO : PASTO - TUMACO									
ELEMENTO	ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. ESPECIFIC. (Km/h)	V. OPERAC. (V85) (Km/h)
	INICIO	FIN							
7	K 8+000	K8+400	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	70	86
9	K 9+000	K 9+500	TANGENTE		500,00	-0,04		70	82
10	K 9+500	K 10+000	TANGENTE		500,00	0.00		70	92
11	K 10+000	K 10+500	TANGENTE		500,00	0.00		70	88
12	K 10+500	K 11+000	TANGENTE		500,00	0.00		70	86
13	K 11+000	K11+500	TANGENTE		500,00	0.00		70	85
14	K11+500	K 12+000	TANGENTE		500,00	0,07		70	96
15	K 12+000	K12+500	TANGENTE		500,00	0,07		70	86
16	K12+500	K 13+000	TANGENTE		500,00	0,07		70	86
17	K 13+000	K 13+500	TANGENTE		500,00	0,07		70	86
18	K 13+500	K 14+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	93
19	K 14+000	K 14+500	TANGENTE		500,00	0,01		70	86
20	K 14+500	K 15+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	87
21	K 15+000	K 15+500	TANGENTE		500,00	0,01		70	86
22	K 15+500	K 16+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	93
23	K 16+000	K 16+200	TANGENTE		200,00	0,01		70	97
24	K 16+200	K 16+500	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	70	95
25	K 16+500	K 16+800	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	70	95
26	K 16+800	K 17+000	TANGENTE		200,00	0,01		70	91
27	K 17+000	K 17+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	89
28	K 17+500	K 18+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	87
30	K 18+500	K 19+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	85
32	K 19+500	K 20+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	90
34	K 20+500	K 21+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	90
35	K 21+000	K 21+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	89
36	K 21+500	K 22+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	84
37	K 22+000	K 22+500	TANGENTE		500,00	0,23		70	84
38	K 22+500	K 23+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	80
39	K 23+000	K 23+500	TANGENTE		500,00	0,23		70	80
40	K 23+500	K 24+000	TANGENTE		500,00	0,23		70	89
41	K 24+000	K 24+500	TANGENTE		500,00	-0,16		70	90
42	K 24+500	K 25+000	TANGENTE		500,00	-0,16		70	85

4.2 VELOCIDADES DE OPERACIÓN ENTRE ELEMENTOS CONSECUTIVOS

Utilizando el segundo Criterio de Lamm se hace la comparación de las velocidades de operación entre los elementos consecutivos.

Se realiza la comparación entre los elementos presente y el anterior (n-1).

La evaluación de la consistencia vial con el II criterio de Lamm nos dice que:

Si la diferencia entre la velocidad de operación del elemento evaluado y la velocidad de operación del elemento inmediatamente anterior para determinado tipo de vehículo es menor o igual a 10km/h, se dice que el elemento presenta una consistencia vial buena.

Si la diferencia entre velocidades está entre 10 km/h y 20 km/h, se dice que el elemento tiene una consistencia vial regular.

Y cuando la diferencia entre velocidades es superior a 20 km/h la consistencia vial es considerada como mala.

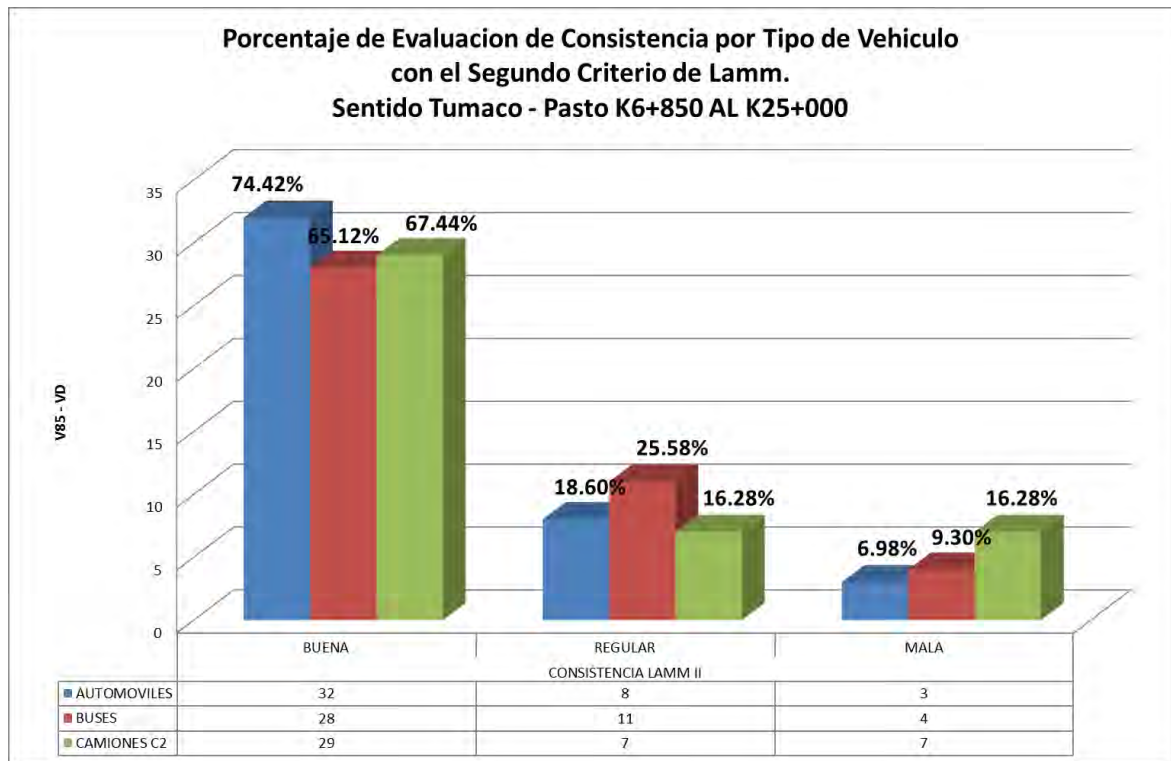
Cabe anotar que las anteriores consideraciones se hacen con valor absoluto.

4.2.1 Sentido Tumaco–Pasto

Tabla 20. Evaluación de elementos según el criterio II de Lamm.

TUMACO - PASTO : K6+850 AL K25+000				
VEHICULOS	CONSISTENCIA LAMM II			TOTAL ELEMENTOS
	BUENA	REGULAR	MALA	
AUTOMOVILES	32	8	3	43
BUSES	28	11	4	43
CAMIONES C2	29	7	7	43

Gráfica 13. Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio II de Lamm. Sentido Tumaco-Pasto



En la gráfica se puede observar que un porcentaje alto 74.42% de los autos presentan una buena consistencia vial, un 18.60% de consistencia vial regular, y solo un 6.98% de consistencia vial mala.

Para el caso de los buses se presentó un 65.12% de consistencia buena, un 25.58% de consistencia regular, y un 9.30% de consistencia mala.

Los camiones C2 presentaron un 67.44% de consistencia vial buena, un 16.28% de consistencia vial regular y un 16.28% con consistencia vial mala.

La gráfica muestra una estadística que indica que la consistencia vial para los tres tipos de vehículos de estudio, presentan un porcentaje alto de consistencia buena en el tramo de estudio según el Criterio II de Lamm.

Tabla 21. Elementos que representan diferencias medias de velocidad de operación entre elementos consecutivos.

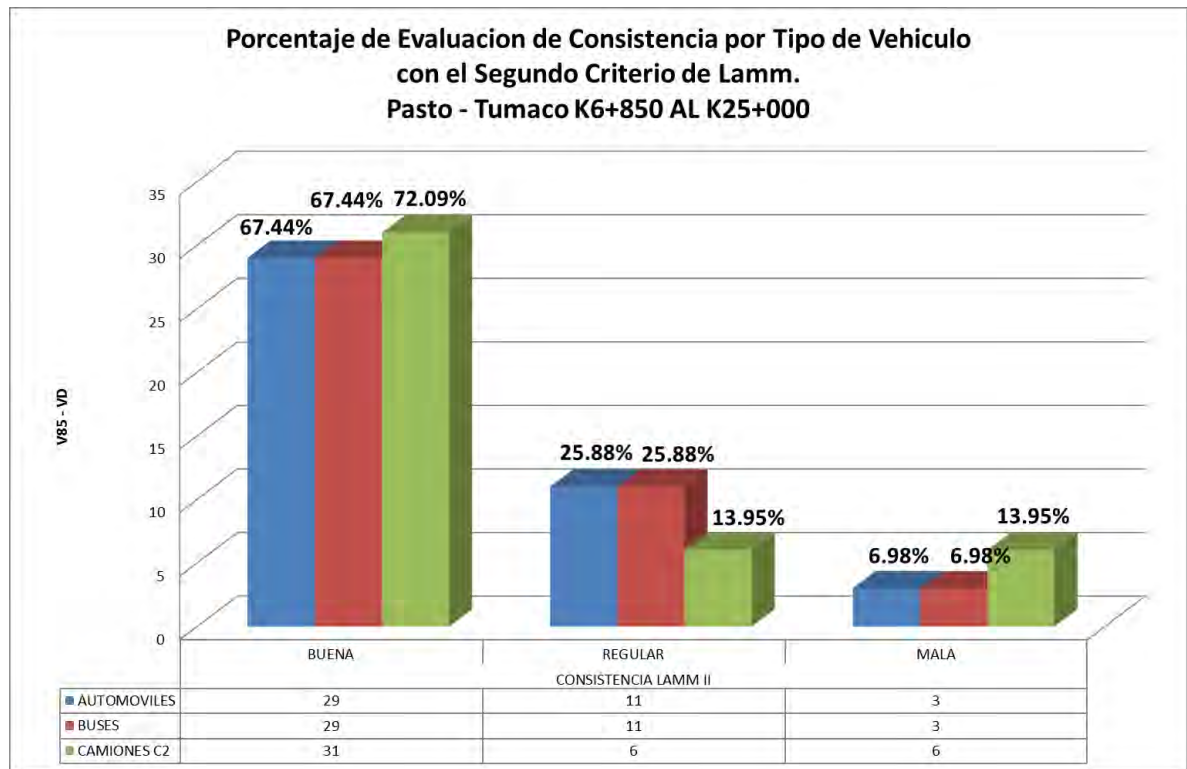
EVALUACION DE CONSISTENCIA REGULAR O MALA PARA AUTOS SEGÚN CRITERIO II DE LAMM									
DIRECCION DE TRAFICO : TUMACO-PASTO									
ELEMENTO	ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. ESPECIFIC. (Km/h)	DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V85 (n-1) (Km/h)
	INICIO	FIN							
5	K 7+450	K 7+600	TANGENTE		150,00	0,11		70	-12
7	K 8+000	K 8+400	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	70	27
8	K 8+400	K 9+000	TANGENTE		600,00	-0,04		70	-22
9	K 9+000	K 9+500	TANGENTE		500,00	-0,04		70	33
22	K 15+500	K 16+000	TANGENTE		500,00	0,01		70	13
25	K 16+500	K 16+800	CURVA	500,00	300,00	0,01	4,68	70	-14
27	K 17+000	K 17+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	-13
30	K 18+500	K 19+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	12
32	K 19+500	K 20+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	16
33	K 20+000	K 20+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	-17
39	K 23+000	K 23+500	TANGENTE		500,00	0,23		70	-12

4.2.2 Sentido Pasto – Tumaco

Tabla 22. Evaluación de elementos según el criterio II de Lamm.

PASTO - TUMACO : K6+850 AL K25+000				
VEHICULOS	CONSISTENCIA LAMM II			TOTAL ELEMENTOS
	BUENA	REGULAR	MALA	
AUTOMOVILES	29	11	3	43
BUSES	29	11	3	43
CAMIONES C2	31	6	6	43

Gráfica 14. Porcentajes de evaluación de consistencia por tipo de vehículo con el criterio II de Lamm. Sentido Pasto – Tumaco



En la gráfica se observa que los automóviles tienen un 67.44% de consistencia vial buena, un 25.88% de consistencia vial regular y el 6.98% de consistencia vial mala.

Para el caso de los buses presentan igual porcentaje de consistencia vial buena, igual porcentaje de consistencia vial regular con los automóviles correspondiente al 67.44% y 25.88%, y un 6.98% de consistencia vial mala.

En los camiones C2 alcanza un alto porcentaje de consistencia vial buena 72.09%, tiene un porcentaje de 13.95% de consistencia vial regular, igual porcentaje que la consistencia vial mala.

Tabla 23. Elementos que representan diferencias medias de velocidad de operación entre elementos consecutivos. Sentido Pasto–Tumaco

EVALUACION DE CONSISTENCIA REGULAR O MALA PARA AUTOS SEGÚN CRITERIO II DE LAMM									
DIRECCION DE TRAFICO : PASTO - TUMACO									
ELEMENTO	ACOTADO		TIPO DE ELEMENTO	RADIO (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	PERALTE (%)	V. ESPECIFIC. (Km/h)	DIFERENCIA V85 (Km/h) Y V85 (n-1) (Km/h)
	INICIO	FIN							
3	K 7+150	K 7+350	TANGENTE		200,00	0,11		70	13
6	K 7+600	K 8+000	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	70	12
7	K 8+000	K 8+400	CURVA	390,00	400,00	-0,04	4,43	70	19
8	K 8+400	K 9+000	TANGENTE		600,00	-0,04		70	-29
9	K 9+000	K 9+500	TANGENTE		500,00	-0,04		70	25
14	K 11+500	K 12+000	TANGENTE		500,00	0,07		70	11
32	K 19+500	K 20+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	14
33	K 20+000	K 20+500	TANGENTE		500,00	-0,00		70	-11
34	K 20+500	K 21+000	TANGENTE		500,00	-0,00		70	11

4.3 CORRELACIÓN ENTRE ACCIDENTALIDAD, VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE AUTOMÓVILES Y VELOCIDAD ESPECÍFICA

Se realiza la correlación entre la velocidad de operación de los automóviles en los sentidos Tumaco – Pasto y Pasto – Tumaco, la velocidad específica de cada elemento y los accidentes ocurridos en el tramo de estudio en el año 2012 y hasta el mes de marzo del año 2013.

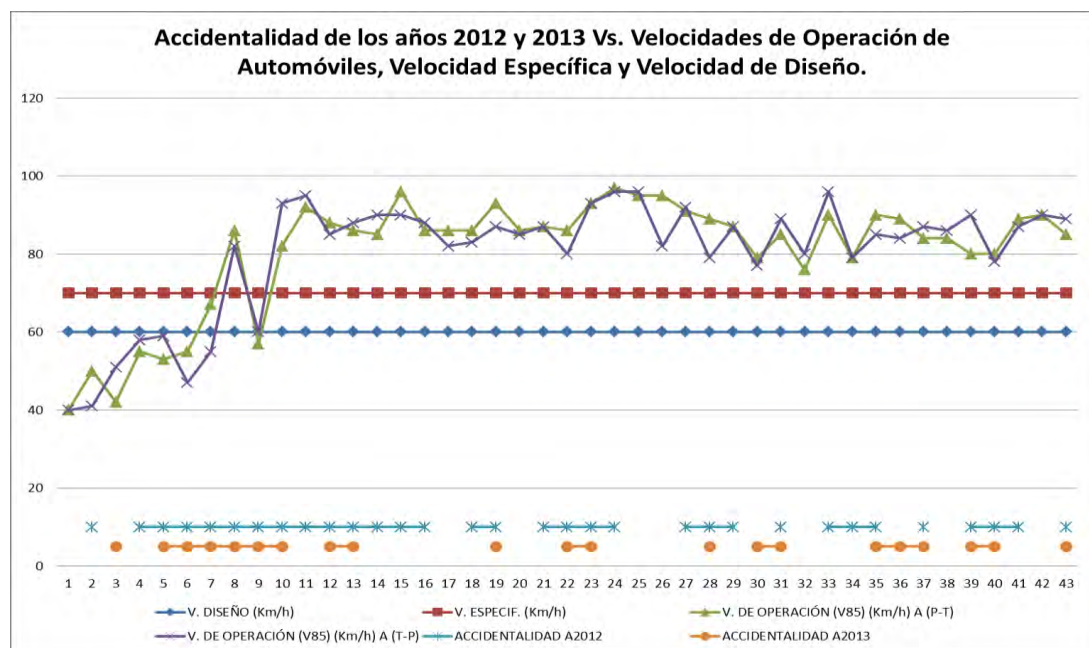
La línea verde muestra la velocidad de operación de los vehículos, la velocidad específica de cada elemento está representada con la línea roja y en la parte inferior están los accidentes presentados en el año 2012 (A2012) con línea azul y asteriscos, y los accidentes presentados desde el mes de enero hasta el mes de marzo del año 2013 (A2013) con línea naranja y puntos. Toda esta información se incluye en la abscisa del tramo de estudio donde se presentaron los accidentes.

En los gráficos Nos. 15 y 16 se muestra que en el año 2012 se presentaron gran parte de los accidentes entre el K7+000 y el K12+000, por una parte debido a la presencia de peatones (zona urbana) y por otra a la imprudencia de los conductores de los vehículos, presentando en este trayecto un alto índice de accidentalidad a causa de la falta de señalización vial tanto para vehículos como para peatones.

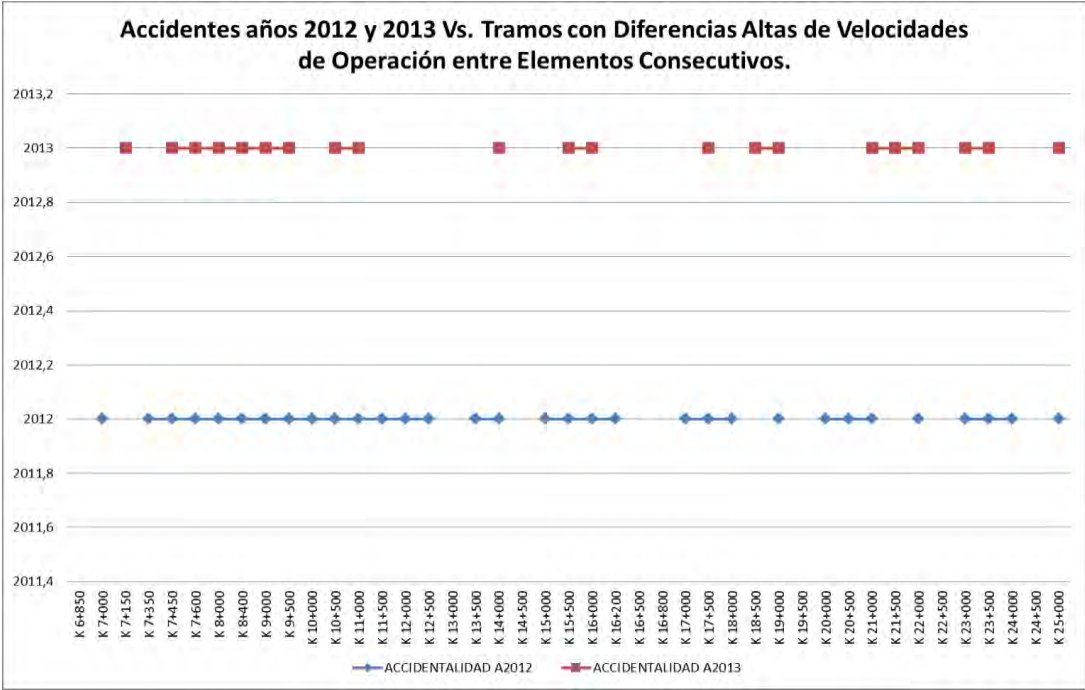
El mismo comportamiento de accidentalidad registrado en el año 2012 se presentó en lo corrido del año 2013, con una agrupación de accidentes dentro del tramo K7+000 al K9+000 específicamente, teniendo en cuenta que sólo se tenían registros de accidentalidad hasta el mes de marzo de 2013.

De acuerdo con los gráficos Nos. 15 y 16 se puede identificar el trayecto K7+000 al K9+000 como crítico dentro del tramo en estudio, en él se presentan descensos en las velocidades de operación para las diferentes categorías de vehículos en estudio y también se presenta la frecuencia más alta de accidentalidad registrada, por lo que requiere la mayor atención por parte de los investigadores en el momento de presentar alternativas de solución que permitan disminuir la accidentalidad presentada en este trayecto y mejorar las velocidades de operación para tener un tránsito más fluido.

Gráfica 15. Accidentalidad de los años 2012 y 2013 vs. Velocidades de operación de automóviles y velocidades específicas.



Gráfica 16. Accidentalidad de los años 2012 y 2013 vs. Velocidades de operación de automóviles y velocidades específicas.



CONCLUSIONES

La evaluación de la consistencia vial del tramo de estudio que comprende desde el punto K6+850 al K25+000 perteneciente al corredor nacional vial Tumaco – Pasto Tramo 10 presenta las siguientes características según los Criterios I y II de Lamm:

Según el criterio I de Lamm, el tramo de estudio presenta una buena consistencia vial para buses y camiones C2, pero para el caso de automóviles es regular acercándose a mala, lo que nos indica que la velocidad de diseño del tramo no es la ideal para que todos los tipos de vehículos se desplacen a una velocidad segura.

Para el caso del segundo criterio de Lamm, el tramo en estudio presenta condiciones buenas de consistencia vial.

La diferencia entre la velocidad de operación entre los elementos geométricos consecutivos es pequeña, lo que nos conduce a decir que los conductores no se ven enfrentados a tener que cambiar de manera brusca de velocidad.

A pesar de que el tramo de estudio en general presenta buena consistencia hay puntos en donde vale la pena realizar un análisis detallado, como es el caso del punto K8+400, K9+000, K9+500, en donde según lo que indica el perfil de velocidades se produce una disminución de la velocidad de operación y a la vez es un punto en donde se presenta un alto índice de accidentalidad.

Observando las características de estos puntos podemos identificar la falta de señalización y mala seguridad vial, tanto para vehículos como para peatones, factores que producen accidentalidad y que se deben garantizar de manera óptima por cuanto en este trayecto crítico encontramos las siguientes características particulares:

- La existencia de un centro de salud
- La gran cantidad de peatones en la zona
- Punto de convergencia de varias vías de acceso a sectores residenciales

Realizando una comparación con el MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO - INVIAS 2008, se pudo observar que el tramo de estudio se clasifica según la categoría de la carretera como primaria de una calzada, se observa en la tabla que para la asignación del ancho de zona según INVIAS 2008 no se cumpliría con el derecho a vía, el cual debe estar en un rango de 24-30 m.

Cabe anotar que el no cumplimiento del ancho requerido obedece a que el manual es relativamente nuevo y a la falta de planeación de nuestras regiones en el desarrollo de infraestructura vial. Tabla 5.1 Ancho de Zona - Manual de Diseño Geométrico 2008 Capítulo 5.

Tabla 24. Ancho de zona

Ancho de Zona

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	ANCHO DE ZONA (m)
Primaria de dos calzadas	> 30
Primaria de una calzada	24 – 30
Secundaria	20 – 24
Terciaria	12

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras - Inviás 2008

Tomando como base las especificaciones técnicas del Manual del INVIAS 2008 como producto de los nuevos requerimientos en el diseño de vías del país, el INVIAS realizó un diagnostico en el corredor vial Tumaco – Pasto en donde se concluyó que la vía no cumplía con la sección de la carretera requerida, esto condujo a que se replanteara y pasara de 6.95 metros de ancho a 7.30m para poder cumplir con los requisitos de la norma actual. Tabla 5.4 Ancho de Calzada - Manual de Diseño Geométrico 2008.

Tabla 25. Ancho de calzada (metros)

Ancho de calzada (metros)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras - Invias 2008

Tabla 26. Bombeo de la calzada

Bombeo de la calzada

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2 – 3
Superficie de tierra o grava	2 – 4

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras - Invias 2008

El tramo en estudio presenta una superficie en asfalto para lo cual se necesita un bombeo mínimo del 2%, verificando los planos suministrados por el consorcio constructor se pudo verificar que el tramo cumple con las condiciones mínimas de bombeo.

Tabla 27. Radios (R_c) según velocidad específica (V_{ch}) y peraltes (e) para $e_{\text{máx.}} = 8\%$

Tabla 3.4. Radios (R_c) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{\text{máx.}} = 8\%$.										
e (%)	$V_{CH} = 40$ km/h R (m)	$V_{CH} = 50$ km/h R (m)	$V_{CH} = 60$ km/h R (m)	$V_{CH} = 70$ km/h R (m)	$V_{CH} = 80$ km/h R (m)	$V_{CH} = 90$ km/h R (m)	$V_{CH} = 100$ km/h R (m)	$V_{CH} = 110$ km/h R (m)	$V_{CH} = 120$ km/h R (m)	$V_{CH} = 130$ km/h R (m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2,0	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2,2	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2,4	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2,6	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2,8	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3,0	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3,2	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3,4	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3,6	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3,8	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4,0	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4,2	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4,4	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4,6	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4,8	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5,0	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5,2	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5,4	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5,6	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5,8	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6,0	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6,2	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6,4	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6,6	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6,8	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7,0	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7,2	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7,4	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7,6	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7,8	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8,0	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras - Invias 2008

El tramo de estudio presenta las siguientes características en cuanto al radio mínimo de curvatura:

- El punto K7+000 presenta un radio de curvatura de 390m, no cumpliendo con la norma actual la cual exige que sea un radio mínimo de 573m.
- El punto K16+200 y K16+500 tiene un radio de curvatura de 500m, igualmente

no cumple con la norma actual que exige un radio mínimo de 509m.

Como conclusión final se puede decir que a pesar de que existen las normas de diseño, en muchos casos se hace imposible cumplir en su totalidad con la misma, muchas veces debido a la topografía del terreno, también se debe a que en muchos lugares de Colombia el crecimiento poblacional se dio alrededor de las carreteras sin ninguna planeación, pero una causa mucho más fuerte es el nivel de subdesarrollo que presentamos en cuanto a infraestructura vial, debido a que los gobernantes no han colocado como punto de partida e ignorando que el desarrollo del país depende en buena medida y principalmente del tipo de vías de comunicación que se tenga.

RECOMENDACIONES

Relacionar las características geométricas de una carretera y lo que espera encontrar el conductor que circula por ella, define la consistencia vial. Si hay una correspondencia entre estos dos aspectos, la conducción se puede hacer de modo continuo, sin sobresaltos, lo que incide favorablemente sobre la seguridad en la circulación. Si bien es cierto hay una serie de recomendaciones desde el punto de vista geométrico para obtener trazados consistentes, esto no siempre se puede lograr, y sólo en los últimos años se ha iniciado el estudio de metodologías para evaluar esto, tanto en vías existentes como en vías proyectadas, dando como resultado una serie de recomendaciones que permitan mejorar la consistencia vial y la seguridad para conductores y peatones.

De acuerdo al análisis realizado en el presente estudio, se indica claramente que la mayor causa presentada en las incidencias de accidentalidad de los años 2012 y 2013 se debe a la imprudencia de los peatones. Por lo tanto se realizan las siguientes recomendaciones:

- Crear conciencia en los peatones para mejorar su comportamiento y evaluar los resultados de cambio logrados, ya que el peatón desarrolla una conducta mecánica y poco consciente, ocasionando entonces infracciones y posibilidades de accidentes. Dado que los peatones perciben que su comportamiento es adecuado, no hay intención de cambio, ya que se considera que su actuación es correcta.
- Brindar oportunidad de cruce seguro en todos los accesos que convergen en el tramo de estudio con el fin de disminuir las probabilidades de accidentes y reducir los tiempos de demora de los viajes.
- Realizar estudios adicionales útiles para este tipo de evaluaciones, entre los cuales se encuentran: consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes en estado ralentí, valoración económica de los gases contaminantes y accidentalidad.
- Desarrollar investigaciones de costos de accidentalidad que den mayor valor a los accidentes fatales, así como a la pérdida de calidad de vida, esto debido a que las consideraciones económicas realizadas en nuestro medio representan un pequeño porcentaje a las valoraciones realizadas en otros países.
- Construir puentes peatonales en los puntos críticos identificados a lo largo del tramo estudiado K6+850 al K25+000 (zona urbana), esta recomendación es la

más importante, por cuanto permite proteger la vida de los peatones y garantizar la fluidez en el tránsito de vehículos por los volúmenes de tránsito presentados, por las velocidades registradas, índices de accidentalidad y por la alta presencia de peatones debido a la cercanía de colegios e instituciones de salud. Estos puentes peatonales recomendados se pueden ubicar en los siguientes puntos :

- 1) Intersección entrada al barrio Nuevo Milenio (K7+400: Ecopetrol S.A.).
 - 2) Intersección entrada al barrio Iberia (K8+100: I.E. Iberia).
 - 3) Intersección entrada al barrio Unión Victoria (K9+000: Centro Hospital Divino Niño).
 - 4) Intersección entrada a los barrios Obrero y Ciudadela (K9+500: Mega colegio).
- Realizar estudios de tránsito correspondientes en el tramo de estudio, que determinen las intersecciones que ameritan la instalación de semáforos, para controlar los volúmenes de tránsito, priorizar los flujos predominantes y garantizar la seguridad para los peatones en el momento de atravesar la vía.
 - Priorizar la seguridad y fluidez de los peatones en dichos estudios de semaforización, debido a que esta normatividad está enfocada principalmente al control de los volúmenes vehiculares y sus demoras, los peatones han estado en una condición de desventaja, en lo que se refiere a la incorporación de los volúmenes en los análisis, a los tiempos de demora y el nivel de servicio que se le presta, además del riesgo de accidentes.
 - Reglamentar las políticas diseñadas desde la Alcaldía Municipal de Tumaco a través de la Secretaría de Tránsito, con el fin de brindar mayor seguridad tanto al peatón como al conductor.

BIBLIOGRAFÍA

BOX, Paul C y OPPENLANDER, Joseph C. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. 4ª ed. México, D.F, 1985.

JIMENEZ PEREZ, Edgar Ramiro. Estudio sobre Velocidad Puntual Av. Ambalá entre Calles 67 y 69. Tesis Especialización en Vías y Transporte. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 2007.

MASSSAFE AT THE UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS, AMHERST. Spot Speed Study Workshop Instruction Manual. Boston. 2005.

REYES SPÍNDOLA, Rafael y CÁRDENAS G, James, Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. 7 ed. México, D.F. Alfaomega, 2000.

CIBERGRAFIA

CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA. OBSERVATORIO DE MOVILIDAD. Disponible en internet, <http://camara.ccb.org.co/contenido/.aspx?conID=2292&catID=434>

Disponible en internet, <http://legislacion-oficial.vlex.cl/decreto-manual-estableciendo-velocidad-243832690>.

Disponible en internet, <http://saludcolombia.com/actual/salud76/informe.htm>

EDGAR JIMENEZ PERZ.doblevia.wordpress.com, Disponible en internet, <http://doblevia.files.wordpress.com/2007/04/velocidad-puntual.pdf>

HYPERPHIPISICS- Technical info and calculators for pólice radar. RADAR GUNS APPROVED in the USA and currenclly in production

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Página Web. Glosario.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES. Modifica manual de señalización de tránsito, estableciendo normas sobre modificación de velocidad, chile: 1999.

SALUD COLOMBIA WEB SITE, Lesiones y muertes por accidentes de tránsito en Colombia. SALUDCOLOMBIA, Enero de 2005.