

**ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE AUTOS, BUSES Y
CAMIONES DE DOS EJES PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA EN
EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LOS KILÓMETROS 53 AL 68 DE LA RUTA
25 PASTO – IPIALES**

**CAMILO ANDRÉS MESA ACOSTA
CESAR ANDRÉS OLIVA HERRERA**

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

**ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE AUTOS, BUSES Y
CAMIONES DE DOS EJES PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA EN
EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LOS KILÓMETROS 53 AL 68 DE LA
RUTA 25 PASTO – IPIALES**

**CAMILO ANDRÉS MESA ACOSTA
CESAR ANDRÉS OLIVA HERRERA**

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

**Director:
Ing. Esp. LUIS ARMANDO MERINO CH.
Docente Universidad de Nariño**

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

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del Autor”.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Jurado

Firma Jurado

San Juan de Pasto, junio 2013

DEDICATORIA CAMILO

A mi madre, Cecilia Acosta.
Por ser mi guía y apoyo desde siempre.

DEDICATORIA CESAR

A mi madre, Marlen Herrera.
Por darme ese amor incondicional que me enseña a vivir y a cumplir mis sueños.
La representación del amor de Dios en mi vida.

RESUMEN

En accidentalidad vial influyen diversos factores, uno de los cuales es la geometría de la carretera. Existen diversas normas y criterios para el diseño, aunque en ocasiones ello no es suficiente para garantizar totalmente la seguridad. En este estudio se analiza el grado de correlación entre el trazado de la carretera y velocidad de operación con la que circulan los vehículos. Este concepto es conocido como consistencia, y está íntimamente ligado con el nivel de accidentalidad de una carretera. En la investigación realizada se adoptó un análisis de consistencia para el tramo de vía comprendido entre los kilómetros 53 a 68 de la ruta 25 Pasto – Ipiales, que consistió en analizar velocidades de operación respecto a las de diseño.

El método utilizado abarcó la medición de velocidades puntuales a una muestra de vehículos categorizados como Autos, Buses y Camiones (C2P y C2G) en cada elemento geométrico, con las cuales se determinó la velocidad de operación a lo largo del tramo, posteriormente, se identificaron las velocidades correspondientes al diseño de cada elemento y a cada categoría vehicular. Esta información se analizó mediante esquemas de tabulación y cuadros de frecuencia, que permitieron la elaboración de perfiles de velocidad. Con esto se determinó si la consistencia del tramo de vía de estudio es buena, aceptable o pobre, de acuerdo a parámetros de evaluación consultados en la bibliografía anexa.

Los resultados de este estudio permitieron determinar que existe otro tipo de factores adicionales a los determinados, que pueden influir en la consistencia de una carretera como son las distancias de visibilidad y frenado, peraltado, ancho de carril, entre otros, por lo que se sugiere realizar estudios de consistencia interrelacionando otros factores que permitan un análisis integral, dado que a pesar de que se encontraron puntos con consistencias pobres, los vehículos circulan a velocidades mayores a las de diseño.

Los resultados que se obtuvieron pueden ser utilizados en fases de diseño o proyección de nuevas vías, así como en el rediseño, rehabilitación de pavimentos y mejoramiento de tramos existentes.

ABSTRACT

Several factors are involved in traffic accidents, one of which is the geometry of the road. There are various rules and criteria for the design, but sometimes this is not sufficient for full security. This study analyzes the degree of fit between the layout of the road and the expectations of the driver about it. This concept is known as consistency, and is closely linked to the level of a road accident. In this investigation was adopted a consistency analysis for the section of track between kilometers 53 to 68 of Route 25 Pasto - Ipiales, comparing operating speeds regarding design speeds.

The method comprised the measurement of point velocities of vehicles categorized as cars, buses and trucks (C2P and C2G) in each geometric element, with which was determined the operation speed along the segment, subsequently were identified the design speeds of each element and each vehicle category. With this information was developed the analysis through tabulations, frequency tables and elaboration of speed profiles. With this was determined if the consistency of track section of study was good, fair or poor, according to bibliographic parameters consulted.

The results of this study have revealed that there are other factors additional that influence the consistency of a road, as the visibility distance and braking distance, lane width, camber, among others. This suggests to realize consistency studies where are interrelating factors enabling integral analysis, since although in some points, the consistencies are poor, vehicles at speeds above the design speed.

The results obtained can be used in design phases or projection of new roads as well as the redesign, rehabilitation and improvement of existing road.

CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. MARCO REFERENCIAL | 23 |
| 1.1. MARCO GEOGRÁFICO | 23 |
| 1.2. MARCO CONCEPTUAL | 23 |
| 1.3. MARCO TEÓRICO | 25 |
| 1.4. ESTUDIOS DE VELOCIDADES EN EL SITIO | 27 |
| 1.5. MÉTODOS PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS DE VELOCIDADES EN EL SITIO | 28 |
| 1.6. MARCO DE ANTECEDENTES | 31 |
| 1.7. MARCO LEGAL | 32 |
| 2. METODOLOGÍA | 33 |
| 3. EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL TRAMO DE ESTUDIO MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE DISEÑO Y OPERACIÓN | 42 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL TRAMO DE VÍA | 42 |
| 3.2. VELOCIDADES DE OPERACIÓN | 46 |
| 3.3. VELOCIDADES DE DISEÑO | 54 |
| 3.3.1. Velocidades Específicas en Curvas Horizontales (VCH) | 54 |
| 3.3.2. Velocidades Específicas en Entretangencias Horizontales (VETH) | 56 |
| 3.3.3. Velocidades Específicas en Curvas Horizontales con Peraltes Mayores al 8% (VCH). | 57 |
| 3.4. EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL TRAMO VIAL MEDIANTE ANÁLISIS DE VELOCIDAD | 58 |
| 3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 73 |
| 3.6. PERFILES DE VELOCIDAD | 75 |
| 4. CONCLUSIONES | 97 |
| 5. RECOMENDACIONES | 100 |
| BIBLIOGRAFÍA | 100 |
| CIBERGRAFÍA | 100 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| CUADRO 1. VALORES DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS (VTR) EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA CARRETERA Y EL TIPO DE TERRENO..... | 26 |
| CUADRO 2. DESVIACIONES ESTÁNDAR DE VELOCIDADES INSTANTÁNEAS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y SENTIDO..... | 37 |
| CUADRO 3. VELOCIDADES MEDIDAS PARA EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA | 38 |
| CUADRO 4. VARIABLES ESTADÍSTICAS PARA CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA | 39 |
| CUADRO 5. ERROR PERMITIDO - CÁLCULO DE TAMAÑO DE MUESTRA..... | 39 |
| CUADRO 6. TAMAÑO DE MUESTRA | 40 |
| CUADRO 7. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DEL TRAMO..... | 42 |
| CUADRO 8. ANÁLISIS DE PENDIENTES | 46 |
| CUADRO 9. INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN PARA EL ELEMENTO NO.1..... | 47 |
| CUADRO 10. TABLA DE FRECUENCIAS RELATIVAS Y ACUMULADAS DE AUTOS EN ASCENSO DEL ELEMENTO NO. 1 | 48 |
| CUADRO 11. FRECUENCIAS RELATIVAS Y ACUMULADAS DE BUSES EN ASCENSO DEL ELEMENTO NO. 1 | 49 |
| CUADRO 12. FRECUENCIAS RELATIVAS Y ACUMULADAS DE CAMIONES C2P EN ASCENSO DEL ELEMENTO NO. 1 | 49 |
| CUADRO 13. TABLA DE FRECUENCIAS RELATIVAS Y ACUMULADAS DE CAMIONES C2G EN ASCENSO DEL ELEMENTO NO. 1 | 50 |
| CUADRO 14. VELOCIDADES DE OPERACIÓN ELEMENTO NO. 1 | 51 |
| CUADRO 15. VELOCIDADES DE OPERACIÓN EN TRAMO..... | 51 |

| | |
|---|----|
| CUADRO 16. RADIOS (RC) SEGÚN VELOCIDAD ESPECÍFICA (VCH) Y PERALTES (E) PARA EMÁX = 8% | 54 |
| CUADRO 17. VELOCIDADES ESPECÍFICAS EN ELEMENTOS GEOMÉTRICOS..... | 57 |
| CUADRO 18. CRITERIOS PARA EVALUAR EL NIVEL DE CONSISTENCIA..... | 59 |
| CUADRO 19. EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DE DISEÑO Y VELOCIDAD DE OPERACIÓN (CRITERIO I) – SENTIDO ASCENSO..... | 59 |
| CUADRO 20. EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DE DISEÑO Y VELOCIDAD DE OPERACIÓN (CRITERIO I) – SENTIDO DESCENSO..... | 62 |
| CUADRO 21. EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS CONSECUTIVOS (CRITERIO II) – SENTIDO ASCENSO | 66 |
| CUADRO 22. EVALUACIÓN DE CONSISTENCIA MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS CONSECUTIVOS (CRITERIO II) – SENTIDO DESCENSO..... | 69 |
| CUADRO 23. PUNTOS DE INCONSISTENCIA VIAL COINCIDENTES EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN (CRITERIO I) Y VELOCIDADES DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS (CRITERIO II)..... | 73 |

LISTA DE GRÁFICAS

- GRÁFICA 1.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+003.163 Y K53+686.321 DE LA VÍA PASTO – IPIALES 77
- GRÁFICA 2.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+686.321 Y K53+003.163 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... 78
- GRÁFICA 3.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+686.321 Y K54+620.981 DE LA VÍA PASTO – IPIALES 79
- GRÁFICA 4.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K54+620.981 Y K53+686.321 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... 80
- GRÁFICA 5.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K54+620.981 Y K55+640.537 DE LA VÍA PASTO – IPIALES 81
- GRÁFICA 6.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K55+640.537 Y K54+620.981 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... 82
- GRÁFICA 7.** PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS

| | |
|---|----|
| MEDIAS K55+640.537 Y K57+575.704 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 83 |
| GRÁFICA 8. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K57+575.704 Y K55+640.537 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 84 |
| GRÁFICA 9. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K57+575.704 Y K59+216.589 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 85 |
| GRÁFICA 10. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K59+216.589 Y K57+575.704 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 86 |
| GRÁFICA 11. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K59+216.589 Y K60+245.671 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 87 |
| GRÁFICA 12. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K60+245.671 Y K59+216.589 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 88 |
| GRÁFICA 13. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K60+245.671 Y K61+523.016 Y DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 89 |
| GRÁFICA 14. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K61+523.016 Y K60+245.671 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 90 |

| | |
|---|----|
| GRÁFICA 15. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K61+523.016 Y K63+319.925 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 91 |
| GRÁFICA 16. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K63+319.925 Y K61+523.016 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 92 |
| GRÁFICA 17. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K63+319.925 Y K66+071.153 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 93 |
| GRÁFICA 18. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K66+071.153 Y K63+319.925 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 94 |
| GRÁFICA 19. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K66+071.153 Y K68+034.101 DE LA VÍA PASTO – IPIALES | 95 |
| GRÁFICA 20. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K68+034.101 Y K66+071.153 DE LA VÍA PASTO – IPIALES..... | 96 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO A. FORMATO DE CAMPO MEDICIÓN DE VELOCIDADES | 102 |
| ANEXO B. PLANOS GEOMETRICOS DEL TRAMO DE VIA DE ESTUDIO | 102 |
| ANEXO C. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMETRICOS COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+003.163 Y K68+034.101 DE LA VIA PASTO - IPIALES | 111 |
| ANEXO D. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMETRICOS COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K68+034.101 Y K53+003.163 DE LA VIA PASTO - IPIALES..... | 112 |

INTRODUCCIÓN

Una vía como obra de infraestructura cumple con la función de permitir la circulación de vehículos para llevar a cabo actividades de transporte, comunicación, comercio entre otras; pero una vía en si misma debe cumplir una configuración geométrica adecuada de tal manera que su diseño sea consistente obedeciendo a los criterios de seguridad, comodidad y economía para los usuarios de la misma.

Una de las formas como se puede lograr un diseño consistente es cuando la velocidad de diseño de los tramos y los elementos que lo conforman se escoge de la manera más adecuada, esto quiere decir que cuando un vehículo circule por la vía los conductores tiendan a llevar una velocidad más o menos uniforme de tal manera que no cambien bruscamente su velocidad de operación.

Según Echaveguren, “El diseño tradicional aplica el supuesto que la velocidad de diseño describe adecuadamente el comportamiento del conductor y que esta nunca será sobrepasada por la velocidad de operación. Sin embargo McLean(1981) en Australia, Krammes (1995) en Estados Unidos y Echaveguren y Sáez (2001) en Chile han verificado empíricamente que dicha hipótesis no es cierta en aquellas vías diseñadas con velocidades de diseño inferiores a 90 – 100 km/h . En tales casos la velocidad de operación medida en terreno ha resultado ser superior a la velocidad de diseño”¹.

En el manual del Instituto Nacional de Vías (INVIAS)² se hace referencia que en Colombia la mayoría de los conductores dependiendo de la percepción del trazado que tienen por delante incrementan su velocidad de operación respecto a la velocidad de diseño del tramo hasta en 20 km/h .

En este estudio se realizó la medición de la velocidad de operación de autos, buses y camiones de dos ejes en el tramo comprendido entre los kilómetros 53 y 68 de la **Ruta 25** Pasto – Ipiales o Troncal de Occidente; las velocidades medidas fueron comparadas con las velocidades de diseño de cada uno de los elementos del tramo que se obtuvieron de los planos existentes. Se compararon velocidades de operación entre elementos adyacentes, se analizaron puntos en los que la velocidad de operación varía de manera significativa sobre la velocidad de diseño del tramo y la específica de cada elemento, lo que permitió evaluar la consistencia del tramo, de igual manera se analizó con respecto a la velocidad, la seguridad del

¹ECHAVEGUEREN, Tomas. Criterios Para El Análisis De Consistencia Del Diseño Geométrico: Velocidad, Aceleración Y Visibilidad. Argentina / Chile, p.4-26.

²INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras 2008. Controles para diseño geométrico, p.39.

tramo de estudio, encontrando que existen otros factores que aunque no son objeto de esta investigación, deberían ser tenidos en cuenta en futuros trabajos de investigación, ya que favorecen las condiciones para incrementar notablemente la velocidad de operación.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

DIAGNÓSTICO

“La probabilidad de muerte por accidente de tránsito en Colombia es superior a cualquiera de las otras causas violentas analizadas separadamente, de conformidad con las cifras del Instituto Nacional de Medicina Legal”³. Si la tendencia mencionada continúa, los accidentes de tránsito pueden llegar a convertirse más adelante en una de las principales causas de lesiones y muerte en Colombia.

Por otra parte el Observatorio de movilidad de la Cámara de comercio de Bogotá y la Universidad de los Andes en su boletín No. 02⁴ resaltan que dentro de los factores más influyentes en la seguridad vial, están los derivados de la propia geometría de la carretera. Según estudios realizados “Una de las principales razones por las cuales el diseño geométrico de carreteras se relaciona con la siniestralidad es por la baja consistencia de la misma”⁵. Entendiéndose como consistencia, la medida en la que un tramo de carretera se ajusta a las expectativas de los conductores y que entre más deficiente sea esta consistencia puede haber una mayor probabilidad de accidentes.

Entre algunos investigadores Mclean (1981)⁶, postuló que la principal causa de inconsistencia de los diseños era la diferencia entre la velocidad de diseño y la de operación; Lamm (1986)⁷ en 1986, adoptó dicho postulado y construyó en base a sucesivos estudios de campo sus criterios de consistencia fundamentales, los dos primeros basados en el análisis de la velocidad a la que circulan los conductores:

- CRITERIO I. Comparación entre la velocidad de diseño y la de operación.
- CRITERIO II. Comparación entre velocidades de operación entre elementos consecutivos del trazado.
- CRITERIO III. Determina la diferencia entre el rozamiento transversal movilizado y demandado.

³ LESIONES Y MUERTES POR ACCIDENTES DE TRANSITO EN COLOMBIA

<http://www.saludcolombia.com/actual/salud76/informe.htm>

⁴ Boletín No 2. Observatorio de Movilidad. Boletín de accidentalidad vial. Cámara de comercio de Bogotá. Universidad de los Andes.

⁵ MODELING OPERATING SPEED Transportation Research Board - 2011

⁶ ECHAVEGUEREN, Op. Cit., p.7-26.

⁷ PEREZ, Ana Maria; CAMACHO, Francisco; GARCIA, Alfredo. Cuaderno Tecnológico de la PTC - La Velocidad De Operación y su Aplicación en el Análisis de la Consistencia de Carreteras para la Mejora de la Seguridad Vial. 2011, p.9,10.

Según lo anterior, es válido afirmar que para enfrentar las consecuencias siniestras de los cambios volumétricos futuros del tránsito en Colombia, será necesario evaluar la consistencia en el diseño geométrico de las carreteras. Para ello será necesario comprender que la medición y estimación de la velocidad de operación es la forma más sencilla de medir la consistencia, de ahí que “La velocidad sea uno de los indicadores más utilizados para la evaluación de la consistencia”.⁸

Nariño por ejemplo en el caso de la Ruta 25 Pasto – Ipiales, que es un tramo de acceso vital para la región presenta altos índices de accidentalidad, que pueden ser indicios de una consistencia inapropiada de los elementos geométricos de la vía lo cual puede verse reflejado en la inadaptabilidad de velocidades de sus operadores en el tramo estudiado.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la consistencia basada en la velocidad de operación de autos, buses y camiones de dos ejes del tramo comprendido entre los kilómetros 53 a 68 de la Ruta 25 Pasto – Ipiales en el Departamento de Nariño?

⁸ Ibíd., p.8.

JUSTIFICACIÓN

Los estudios de velocidad de operación son necesarios en las vías sobre todo en las vías principales por cuanto el volumen de tránsito es elevado; por tanto el estudio de la Ruta 25 Pasto – Ipiales es de suma importancia ya que los resultados permitirán recomendar medidas pertinentes para que el tránsito en esta vía sea más cómodo y seguro para los usuarios.

Mediante el presente estudio de velocidades de operación es posible determinar la consistencia de una vía, y dentro de esta establecer puntos críticos como: zonas de alta accidentalidad, zonas de exceso de velocidad, longitudes críticas de ascenso, puntos en la vía que necesitan mejoras, puntos que necesitan ser rediseñados, entre otros.

En las vías del Departamento de Nariño, no se han efectuado estudios relacionados con de la velocidad de operación que sirvan como referente investigativo, punto de referencia que justifique una señalización adecuada, modificación de peraltes en las curvas o rediseño de tramos de vía.

Tampoco existen estudios que permitan determinar la relación entre el diseño geométrico de la vía con respecto a la accidentalidad presente en los diferentes tramos.

De igual manera, el estudio servirá de apoyo para la toma de decisiones con respecto a la modificación de señalizaciones, elementos geométricos, rediseño de tramos o construcción de nuevos tramos en la Ruta 25.

Además, el trabajo será un referente para posteriores investigaciones tanto en otros tramos de la Ruta 25 como en otras vías del departamento de Nariño y en Colombia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la consistencia basada en la velocidad de operación de autos, buses y camiones de dos ejes del tramo comprendido entre los kilómetros 53 a 68 de la ruta 25 Pasto – Ipiales en el Departamento de Nariño.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las velocidades de diseño de cada elemento del tramo en estudio.
- Establecer las velocidades de operación para cada elemento constitutivo del tramo en mención.
- Comparar las velocidades de diseño con las velocidades de operación obtenidas.
- Determinar la consistencia basada en velocidad de operación de los elementos constitutivos del tramo.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. MARCO GEOGRÁFICO

La Ruta Nacional 25 o comúnmente llamada la Troncal de Occidente o Troncal Occidental hace parte del corredor vial Nacional de Colombia que parte del Puente Rumichaca en la Frontera con Ecuador y termina en la ciudad de Barranquilla. Es la principal Vía del Occidente del País y hasta el momento la única Vía que bordea el Pacífico⁹.

Enmarcada dentro de la ruta troncal de occidente se encuentra la zona de interés comprendida desde el Puente Internacional de Rumichaca, en la frontera con Ecuador, pasando por Ipiales, y las poblaciones de San Juan, Pilcuan, Pedregal, Tangua y Catambuco, continuando por Pasto y empalma con la población de Chachagüí, hasta el acceso al aeropuerto Antonio Nariño de la capital nariñense. El terreno es montañoso en el 90 por ciento y el diez por ciento restante se conforma por terreno ondulado y plano. La vía comunica a Colombia con el resto de los países de Suramérica, así como a Nariño con los otros departamentos del país¹⁰.

1.2. MARCO CONCEPTUAL

La velocidad es un factor básico para tener en cuenta en la concepción de vías tanto para el diseño geométrico de cada uno de los elementos de una nueva vía como para el restablecimiento de una ya existente.

Se conceptualizan diferentes tipos de velocidades, entre ellos:

Velocidad puntual: Es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto de la carretera en un instante dado.

Velocidad media temporal: Es el promedio aritmético de la velocidad puntual de un grupo de vehículos observados durante un intervalo de tiempo dado.

Velocidad media espacial: Promedio aritmético de la velocidad puntual de todos los vehículos que un instante determinado se encuentren en un tramo de carretera.

⁹ Ministerio de Transporte Resolución 339 de 26 de Febrero de 1999

¹⁰ Presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2005/octubre/31/11312005.htm

Velocidad de recorrido: Es la relación de la distancia total entre el principio y fin del viaje de un automóvil y el tiempo total que tarda en recorrerla.¹¹

Velocidad de diseño: Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Instituto Nacional de Vías se define la velocidad de diseño como “La velocidad guía o 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”¹².

La velocidad de diseño corresponde a la mínima velocidad específica de los componentes de un tramo con el fin de lograr velocidad uniforme a lo largo del tramo de la vía teniendo en cuenta criterios como: clase de carretera, geografía, entorno entre otros.

Velocidad específica: La velocidad específica se define como la máxima velocidad que un conductor puede mantener al recorrer un elemento particular de un tramo de una vía, además con esta velocidad se diseñará el respectivo elemento.

Hoy en día el manual de diseño geométrico de carreteras 2008 considera la velocidad específica dependiente de dos parámetros:

“- Del valor de la Velocidad de Diseño del Tramo Homogéneo (VTR) en que se encuentra incluido el elemento.

- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido”.¹³

Velocidad de operación: Se considera que la velocidad de operación es aquella con la cual realmente circula un vehículo en la vía; o sea la velocidad cómoda y segura con la que se conduce sin que esté condicionada por algún factor que esté relacionado con el clima o el nivel de tránsito sino solamente por las características de los elementos de la vía y sus zonas cercanas.

La velocidad de operación se define como: “Aquella correspondiente a la velocidad del percentil 85, que es la velocidad bajo la cual circula el 85% de los vehículos en condiciones de flujo libre y sin lluvia. Se puede obtener ordenando las velocidades de operación observadas de menor a mayor hasta alcanzar el 85% de

¹¹ Diseño geométrico de vías. Universidad de Ibagué

¹² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. Cit. Glosario de términos, p.273

¹³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. Cit. Controles para diseño geométrico, p.39

la muestra. La velocidad que completa el 85% de las observaciones es la correspondiente al percentil 85".¹⁴

1.3. MARCO TEÓRICO

Según el manual de diseño de carreteras en Colombia del Instituto Nacional de Vías, para establecer una velocidad adecuada de una vía se debe tener en cuenta la seguridad de los usuarios, de tal manera que no haya cambios bruscos ni muy frecuentes de velocidad para los conductores.

Dentro del diseño de una vía se debe considerar tramos viales que sean homogéneos de tal manera que por sus condiciones topográficas se les pueda fijar una misma velocidad de diseño (VTR). Los tramos homogéneos y su respectiva velocidad de diseño obedecen a los siguientes criterios dados por el manual:

- a) La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño dada debe ser de tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento diez kilómetros por hora (60 y 110 km/h).
- b) La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h)¹⁵.

En caso de un cambio acentuado en el terreno en un pequeño trayecto de la vía se establece un tramo homogéneo de longitud menor a las especificadas anteriormente teniendo en cuenta que la velocidad de diseño para este tramo no debe variar en más de diez kilómetros por hora con los tramos adyacentes (10 km/h).¹⁶

La Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (VTR), es la base para definir de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (VTR)

Para un tramo homogéneo la velocidad de diseño (VTR) se designa bajo los criterios de la categoría de la carretera y el tipo de terreno; con base en la geografía colombiana se emplean los siguientes rangos de velocidades dados por el manual de diseño de carreteras de Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (Ver Cuadro 1)

¹⁴ Modifica Manual de señalización de tránsito estableciendo normas sobre modificación de velocidad. Santiago de Chile. 28 de febrero del 2000

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. cit., Controles para diseño geométrico, p. 37

¹⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. cit., Controles para diseño geométrico, p. 37

Cuadro 1. Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en Función de la Categoría de la Carretera y el Tipo de Terreno.

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

Fuente: INVIAS – Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

Velocidad Específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil

Como se había referido más adelante la velocidad específica de cada uno de los elementos de un tramo homogéneo se refiere a la velocidad máxima con la que posiblemente circulara un conductor en ese elemento y con la cual se lo diseñará.

Además, la velocidad específica depende:

- “Del valor de la Velocidad de Diseño del Tramo Homogéneo (VTR) en que se encuentra incluido el elemento. La condición deseable es que a la mayoría de los elementos geométricos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como Velocidad Específica el valor de la velocidad de diseño del tramo (VTR).
- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido”¹⁷.

¹⁷INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. Cit., Controles para diseño geométrico, p. 39,40

En resumen, para asignar la velocidad específica de los elementos del tramo homogéneo se tiene en cuenta lo siguiente:

a) En el proceso de diseño del eje en planta:

- Partiendo de la Velocidad de Diseño del tramo homogéneo adoptada (VTR), asignar la Velocidad Específica a cada una de las curvas horizontales (VCH).
- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las curvas horizontales (VCH), asignar la velocidad específica a las entretangencias horizontales (VETH).

b) En el proceso de diseño del eje en perfil:

- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las curvas horizontales (VCH) y a las entretangencias horizontales (VETH), asignar la Velocidad Específica a las curvas verticales (VCV).
- Partiendo de la Velocidad Específica asignada a las entre tangencias horizontales (VETH), asignar la Velocidad Específica a las tangentes verticales (VTV).¹⁸

Los procesos para asignar las velocidades específicas de los elementos nombrados se encuentran estipulados en el manual de INVIAS con sus respectivas tablas.

1.4. ESTUDIOS DE VELOCIDADES EN EL SITIO

Como ya se había mencionado la velocidad es un factor importante en el transporte y un parámetro esencial en el diseño de una vía, tiene implicaciones económicas, de seguridad, de tiempo y servicio para todos los usuarios de la vía.

“Los estudios de velocidad en el sitio se realizan para estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en un lugar específico en una carretera; un estudio de velocidad en el sitio consiste en registrar la velocidad de una muestra de vehículos en un lugar específico. Las características de velocidad identificadas serán válidas solamente para las condiciones de tránsito y de medio ambiente que existan en el momento del estudio”¹⁹.

¹⁸INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Op. Cit., Controles para diseño geométrico. Pág. 39,40

¹⁹ GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. INGENIERÍA DE TRANSITO Y DE CARRETERAS, OPERACIONES DE TRANSITO. Mexico 2005, p.68.

Se debe registrar la velocidad de un número suficiente de vehículos, de manera que se produzcan datos para determinar una velocidad conveniente que cubra a la mayoría de conductores (usualmente el 85%) con un grado razonable de seguridad.

Las tendencias y características de velocidad que se determinen en sitio generalmente se utilizan según Garber (2005) en:

- “Establecer parámetros para la operación y el control de tránsito, tales como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control, tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas de trabajo
- Verificar el efecto de los programas en vigor que monitorean la velocidad, tales como el uso de radar sonoro y de límites diferenciados de velocidad para automóviles y camiones.
- Evaluar las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas. Para así determinar las condiciones adecuadas de su trazado.
- Evaluar el efecto de la velocidad en la seguridad de las carreteras mediante el análisis de los datos de accidentes para diferentes características de velocidad.
- Determinar las tendencias de velocidades
- Determinar si son válidas las quejas acerca de incidentes de exceso de velocidad”²⁰.

Entre otras utilidades también se considera la velocidad de operación para establecer zonas de adelantamiento y para el establecimiento y la localización de señalización.

1.5. MÉTODOS PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS DE VELOCIDADES EN EL SITIO

Los métodos para realizar estudios de velocidades en sitio se clasifican dependiendo del tipo de datos que se obtienen o si son manuales o automáticos.

²⁰ Ibíd. pág.68

El cuaderno tecnológico de la PTC (Plataforma tecnológica española de la carretera) clasifica las metodologías según el tipo de datos que se obtienen, así:

- a. **“Datos puntuales:** aquí se encuentra la toma de datos puntuales de velocidad mediante pistola radar, pistola lidar, o sensores piezoeléctricos que se colocan en el pavimento.
- b. **Datos continuos:** en algunas investigaciones se han utilizado para obtener datos continuos grabaciones de videos, teniendo en cuenta que es para tramos cortos; otra forma es el uso de la tecnología GPS que se equipa en vehículos que se maniobran con conductores voluntarios”²¹.

Garber (2005) clasifica las metodologías en manuales y automáticos haciendo referencia a los últimos ya que los manuales no son de uso común:

- a. “Métodos manuales.
- b. Métodos automáticos: aquí se pueden clasificar los detectores de camino, medidores de principio doppler (pistola radar), dispositivos electrónicos”²².

A continuación, se hace una breve descripción de los métodos más comunes.

Medidores con el principio doppler: Al transmitir una señal hacia un vehículo en movimiento, el cambio de frecuencia entre la señal transmitida y la señal reflejada es proporcional a la velocidad del vehículo en movimiento. El equipo mide la diferencia entre la frecuencia de la señal transmitida y la de la señal reflejada, que luego es convertida a velocidad en millas por hora²³.

Algunos equipos que funcionan bajo el principio doppler son las pistolas radar que son un transceptor de radio: envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco.

El funcionamiento del haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelven a la pistola.

La mayoría de las pistolas radar operan en las bandas X, K, Ka, banda IR (infrarroja), y (en Europa) Ku. Todas las bandas de radar obran de diferente manera; operando en diferentes frecuencias. Las pistolas de banda X son las menos usadas, porque su haz es fuerte y fácilmente detectable. Además, muchos portones automáticos utilizan ondas de radio en la banda X y pueden

²¹ PEREZ, Ana María; CAMACHO, Francisco; GARCIA, Alfredo. Op. Cit., p.39.

²² GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Op. Cit., p.83.

²³GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Op. Cit., p.84.

posiblemente afectar las lecturas de las pistolas radar. Así resulta que las bandas K y Ka son las más usadas comúnmente por la autoridad policial.

“Los radares vienen en muchos modelos. Los hay de mano, estacionarios y de movimiento. Los de mano son operados a batería, y la mayoría son desde una posición estacionaria. Los radares estacionarios pueden montarse en vehículos, y poseer una o dos antenas, y el vehículo aparcado. Los radares de movimiento se emplean, cuando el vehículo se mueve”²⁴. Estos artefactos son muy complejos, y pueden medir velocidades de automóviles por delante y por detrás del vehículo de control.

La ventaja de usar estos dispositivos es que si se ubican en una buena posición en la que el aparato no sea percibido por los conductores se reduce el cambio del comportamiento de estos; además lo importante de una pistola radar es su bajo precio y su maniobrabilidad, claro que también se pueden encontrar en el mercado radares de miles de dólares.

El uso de radar también es susceptible a errores, como:

- Error del coseno: al tomar las medidas debe tenerse cuidado de reducir el ángulo entre la dirección del vehículo en movimiento y la línea que une los centros del transmisor y del vehículo, se refiere a la desviación entre el rayo radar leído y la dirección real del blanco.
- Si el aparato para hacer las mediciones se ubica en un lugar donde sea percibida fácilmente por los conductores puede haber una variación del comportamiento en cuanto a que se puede disminuir la velocidad ya que se pensaría que es un equipo de control de velocidades.
- Errores cometidos por la persona que hace la medición de las velocidades.

La antena de un radar puede verse afectada por interferencias, tales como líneas de alta tensión, teléfonos celulares, algunas frecuencias de radio, entre otras.

Hay que tener en cuenta que dependiendo del equipo y de la frecuencia que este use puede ser susceptible a ser identificado por detectores de radar que hoy en día muchos conductores utilizan. Hay que tener en cuenta también que “no necesariamente el radar detecta el objeto de mayor velocidad, ya que la señal de retorno más fuerte puede estar afectada por diferentes factores, como el tamaño del móvil, el área transversal mirando hacia la antena de radar, su relativa velocidad y la distancia al radar”.

²⁴ HYPERPHISICS – technical info and calculators for police radar. RADAR GUNS APPROVED in the USA and currently in production.

Medidores con tecnología GPS: “Mediante el uso de esta tecnología se puede obtener la velocidad de un tramo amplio de vía, para esto se usa vehículos instrumentados con los equipos de GPS; cabe aclarar que los conductores son voluntarios y conocen el objeto del estudio; en este caso se desarrollaría un error ya que no se realiza el estudio con el comportamiento real de los conductores”.²⁵

Una variación para el uso del GPS en un tramo de vía es parar a vehículos particulares en el inicio del tramo, pedir su colaboración, colocar el GPS en su auto; al final del tramo se recibe el instrumento al conductor y así se obtiene la velocidad de ese auto en el tramo. También, se caería en el error porque el conductor de una u otra forma variaría su comportamiento, además el solo hecho de parar el auto afectaría el flujo normal del tráfico.

Detectores de camino: Dentro de los detectores de camino se encuentran los tubos neumáticos para caminos que son los más comunes dentro de este grupo, estos se colocan en forma transversal al carril donde serán recolectados los datos. Cuando un vehículo en movimiento pasa sobre el tubo se transmite un impulso de aire a través del tubo hasta el contador. Para mediciones de velocidad, se colocan dos tubos en forma transversal al carril con una separación generalmente de 6 pies o la que se considere adecuada, cuando las ruedas de un vehículo en movimiento pasan sobre el primer tubo, se registra el primer impulso, poco después se registra un segundo impulso cuando las ruedas delanteras pasan sobre el segundo tubo. “El tiempo que transcurre entre los dos impulsos y la distancia entre los tubos sirve de referencia para calcular la velocidad del vehículo”²⁶.

El uso de estos dispositivos tiene como ventaja reducir el error pero las desventajas es que son muy costosos y pueden ser muy obvios y afectar el comportamiento del conductor y por consiguiente la distribución de velocidades.

1.6. MARCO DE ANTECEDENTES

- **Utilización de equipos GPS de seguimiento pasivo en la obtención de perfiles de velocidad operativa. Revel una metodología para revisión de los límites de velocidad.- 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 que 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

²⁵ HYPERPHIPISICS – technical info and calculators for police radar. RADAR GUNS APPROVED in the USA and currenclly in production.

²⁶GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Op. Cit., p.83.

de 4.5 km y 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 estimar tendencias de la velocidad, entre otras utilidades del GPS se obtuvo la geometría de la vía.

- **Estudio sobre velocidad puntual Avenida Ambala 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 tal 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.

1.7. MARCO LEGAL

Esta investigación se encuentra enmarcada dentro del sector vial en Colombia, el cual está regulado por el INVIAS y toma como apoyo el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

Además cuenta con la Resolución 000744 del 04 de marzo de 2009, por la cual se actualiza el manual de diseño geométrico de carreteras.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se consideraron cinco fases, las cuales se describen a continuación.

Fase I

Es la fase preparatoria, se realizaron los trabajos previos necesarios para ejecutar un estudio de velocidades de operación satisfactorio, dentro de estas actividades se encuentran:

- Obtención de los planos del tramo en estudio.
- Realización de un conteo vehicular para determinar el volumen de tránsito del sector y el porcentaje de cada tipo de vehículos.
- Toma de velocidades de operación a una muestra piloto para la determinación de tiempos promedios en las tomas de cada muestra.

Fase II

- En esta fase se realizó el trabajo de campo, que consistió en la toma de velocidades a la que operan los conductores de los automóviles, buses y camiones de dos ejes en cada uno de los elementos del tramo comprendido entre los kilómetros 53 a 68 de la Ruta 25 en los dos sentidos (Pasto – Ipiales, Ipiales – Pasto)
- Además, de obtener las velocidades de diseño de cada uno de los elementos de la zona analizada.

Fase III

En esta fase se sistematizaron y organizaron los datos obtenidos en la FASE II.

Fase IV

Es la fase de análisis, en ella se comparó las velocidades de diseño y de operación de cada elemento geométrico del tramo, se elaboraron perfiles de velocidad, y determino la consistencia de cada elemento del tramo estudiado.

Fase V

Es la fase final del trabajo, en ella se elaboraron las conclusiones, observaciones y recomendaciones acordes con los resultados obtenidos en la FASE IV.

2.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se desarrolló este capítulo con la asesoría de estadistas de la Universidad de Nariño, quienes lo revisaron y consideraron adecuado, por lo que se certificó el proceso de cálculo de la muestra por parte de la Unidad de Estadística de la Universidad de Nariño a través del docente Esp.en Estadística, Leonel Delgado. (Se anexa el proceso de cálculo de tamaño de la muestra con nota y firma de certificación).

2.1.1. Población

Tamaño del tramo

Para seleccionar la longitud de tramo a analizar, se desarrolló un muestreo piloto donde se analizó un elemento geométrico en sentido de ascenso y descenso bajo condiciones de población y tamaño de muestra estipulada para este tipo de investigación.

Esto permitió observar que el tiempo empleado para la medición de velocidades en un elemento geométrico es de 1 día (8 horas de trabajo). Por ello, haciendo una proyección de tiempo según condiciones de trabajo de 5 días por semana, se concluye que es recomendable analizar un tramo de vía en un rango promedio de 12 a 15 kilómetros, según condiciones propias del diseño geométrico del tramo vial a lo largo de su longitud; lo cual permitió tomar la decisión de ejecutar la investigación en una longitud de 15 km, los cuales corresponden al tramo comprendido entre los puntos referenciados KM 53+000 al KM 68+000 de la vía de estudio.

Tipo de vehículos que conforman la población de estudio

En este caso, el método de muestreo será únicamente empleado para las categorías vehiculares de mayor incidencia y representatividad en cuanto a velocidad de operación se refiere en el tramo de estudio, para esto se emplearon los volúmenes de tránsito del INVIAS del año 2008, para referenciar y justificar que en el sector Panamericano los vehículos de mayor incidencia son:

- Vehículos comerciales
- Buses
- Camiones tipo C2
 - C2P
 - C2G

Según los reportes del INVIAS, es bajo e intermitente el volumen de tránsito de automotores de categorías C3, C4, C5 y C6, además este tipo de automotores

generan velocidades bajas que no superan las velocidades de diseño, especialmente cuando están cargados, motivos por los cuales no representan gran incidencia en cuanto a velocidades de operación se refiere, con respecto a los otros tipos de vehículos; razón por la cual para efectos de este estudio, dichas categorías no se tendrán en cuenta, debido a que la etapa de muestreo se llevaría a cabo en tiempos fuera del rango de tolerancia esperado.

Ante esta situación, la población de mayor incidencia mencionada, será el componente de la muestra a analizar. Esto con el fin de conducir la investigación dentro de límites prácticos y viables que permitan su desarrollo dentro de tiempos razonables y oportunos del cronograma de trabajo.

Muestreo

Para obtener una adecuada medición de velocidades operacionales del tramo vial en estudio, se recurrirá a la medida de velocidades instantáneas de los vehículos tipo seleccionados que circulan libremente por cada uno de los elementos geométricos a analizar, evitando mediciones donde se generen interferencias por maniobras de adelantamiento o disminuciones considerables por obstáculos.

Para este procedimiento se empleó un velocímetro de radar Ref. Bushnell Speedster III, que permite obtener la velocidad instantánea de un vehículo con solo poner el vehículo frente a la mira del dispositivo.

2.1.2. Ubicación para la medición de la velocidad. Según el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito del Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas, los estudios de velocidades instantáneas se pueden hacer en ubicaciones generales o especiales.

Ubicaciones Generales: Son aquellas seleccionadas para estudios de tendencias o datos de encuestas básicas de tránsito. Para carreteras rurales, los estudios de tendencias se llevan a cabo en secciones rectas y sin pendiente lejos de intersecciones o desarrollos a los lados de la vía. En áreas urbanas se seleccionan ubicaciones a media cuadra, sin la influencia de estacionamientos y accesos.

Ubicaciones Especiales: Son aquellas seleccionadas para establecer límites de velocidad para calles específicas y secciones de vía, para evaluar mejoras de tránsito y para estudiar zonas de accidentes. Además, los estudios de velocidades instantáneas se llevan a cabo en determinadas áreas para investigación y otros estudios especiales, o para evaluar la relación entre la velocidad y factores que puedan afectarla.

En este caso se deberán usar ubicaciones especiales, debido a que el estudio está encaminado a realizar un análisis comparativo de las velocidades de diseño y

operación, para de esta forma evaluar la seguridad vial en tramo de estudio respecto al factor velocidad.

Claro que todo lo anterior se desarrollara con un factor agregado de calidad y para ello se deberán tener en cuenta que “Para estimar la velocidad instantánea en una zona de manera precisa y no sesgada, se deberá procurar proceder de la siguiente forma”.

- a) “El equipo de medición debe ser escondido de manera que el conductor no sepa que está siendo medido.
- b) Si el observador necesita ver los vehículos, también debe esconderse.
- c) Evitar tener público observando el aforo.
- d) Chequear un número adecuado de velocidades de vehículos”.²⁷

2.1.3. Tamaño de la muestra. El tamaño de la muestra se definió de forma estadística según recomendaciones del Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito del Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas, el cual menciona que: Un estudio de velocidades instantáneas requiere un tamaño de muestra adecuado para satisfacer consideraciones estadísticas. Y propone la siguiente ecuación para obtener el tamaño de la muestra para la medición de velocidades:

$$N = \left(\frac{SK}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Dónde:

N = tamaño de la muestra

S = desviación estándar estimada de la muestra (KPH)

K = constante que corresponden al nivel de confianza deseado

E = error permitido en el estimado de la velocidad

En este caso la desviación estándar de las velocidades instantáneas no ha sido determinada en un análisis de velocidad previo, se podrá hacer un estimado razonable de acuerdo con el área de tránsito y el tipo de vía, usando el siguiente cuadro. (Ver Cuadro 2)

²⁷ MANUAL DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano Para las Ciudades Medias Mexicanas, Manual Normativo - Tomo XII.,p. 14

Cuadro 2. Desviaciones Estándar de Velocidades Instantáneas para Determinar el Tamaño de la Muestra y Sentido

| Área de Tránsito | Tipo de Carretera | Desviación Estándar Media (kph) |
|-------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Rural | 2 carriles | 8,5 |
| Rural | 4 carriles | 6,8 |
| Intermedio | 2 carriles | 8,5 |
| Intermedio | 4 carriles | 8,5 |
| Urbana | 2 carriles | 7,7 |
| Urbana | 4 carriles | 7,9 |
| Valor Redondeado | | 8,0 |

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito

Debido a que la desviación estándar media varía entre 7.9 y 8.5 KPH para las seis combinaciones de tipos de área de tránsito y tipo de carretera. El Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito recomienda que se use un valor de 8.0 KPH para cualquier tipo de carretera y área de tránsito, debido a que la variabilidad en las medidas de la dispersión de la velocidad es limitada.

En el caso de la constante K, esta dependerá del nivel de confianza (la probabilidad que la velocidad media sea una estimación válida). Un valor de 2.00 se usa a menudo y proporciona un nivel de confianza de 95.5 %, esto referenciando El Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito que menciona que para efectos aplicativos e investigativos tan solo será necesario este nivel de confianza.

Por otro lado el error permitido E, depende de la precisión requerida en el estimado de la velocidad media. Esta medida es una tolerancia absoluta, esto quiere decir que el error absoluto se especifica como +/- un valor seleccionado. Para este estudio según especificaciones técnicas del radar de velocidad a utilizar, se tiene un error instrumental estimado de +/- 1 MPH ó lo que es equivalente a +/- 1.6 KPH en la medición, y si se considera la inexperiencia de las personas encargadas de la medición y la vulnerabilidad a la que se encuentra sometido el procedimiento, este error podrá aumentar; esto como consecuencia de que las mediciones manuales pueden introducir tres tipos de errores:

- Error del coseno: es inducido por la desviación entre el rayo radar leído y la dirección conducida real.
- Error humano en la medida de las velocidades.

- Variación del comportamiento de los conductores al percibir el equipo de medida como un equipo de control de la velocidad.²⁸

Es por este motivo que se procedió a realizar un muestreo piloto correspondiente 30 mediciones de velocidad según cada tipo de vehículo a analizar (recomendado por el Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito como muestreo mínimo en estudios de medición de velocidades), para determinar de esta forma el error real que se genera en la medición, al utilizar el instrumento radar con que se cuenta para este estudio por quienes realizan la medición.

Este procedimiento, se realizó mediante la toma de velocidades de operación en uno de los elementos incluidos en el tramo vial a analizar. De esta forma se obtuvo los siguientes resultados según cada tipo de vehículos:

Cuadro 3. Velocidades Medidas para el Cálculo del Tamaño de Muestra

| AUTOS | | BUSES | | CAMIONES TIPO C2P | | CAMIONES TIPO C2G | |
|-------|------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar |
| 1 | 64 | 1 | 56 | 1 | 52 | 1 | 49 |
| 2 | 62 | 2 | 59 | 2 | 66 | 2 | 70 |
| 3 | 51 | 3 | 50 | 3 | 65 | 3 | 41 |
| 4 | 61 | 4 | 64 | 4 | 71 | 4 | 82 |
| 5 | 60 | 5 | 68 | 5 | 73 | 5 | 67 |
| 6 | 65 | 6 | 54 | 6 | 62 | 6 | 64 |
| 7 | 66 | 7 | 43 | 7 | 70 | 7 | 67 |
| 8 | 68 | 8 | 66 | 8 | 66 | 8 | 82 |
| 9 | 73 | 9 | 59 | 9 | 49 | 9 | 78 |
| 10 | 65 | 10 | 49 | 10 | 68 | 10 | 80 |
| 11 | 68 | 11 | 69 | 11 | 66 | 11 | 79 |
| 12 | 71 | 12 | 62 | 12 | 47 | 12 | 61 |
| 13 | 47 | 13 | 63 | 13 | 62 | 13 | 59 |
| 14 | 61 | 14 | 55 | 14 | 61 | 14 | 61 |
| 15 | 60 | 15 | 60 | 15 | 70 | 15 | 63 |
| 16 | 64 | 16 | 68 | 16 | 59 | 16 | 43 |
| 17 | 74 | 17 | 54 | 17 | 58 | 17 | 55 |
| 18 | 83 | 18 | 49 | 18 | 55 | 18 | 57 |
| 19 | 58 | 19 | 46 | 19 | 52 | 19 | 84 |
| 20 | 51 | 20 | 50 | 20 | 45 | 20 | 68 |
| 21 | 66 | 21 | 69 | 21 | 65 | 21 | 66 |

²⁸ CUADERNO TECNOLÓGICO DE LA Plataforma Tecnológica Española de la Carretera – PTC. “La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial”, p. 39. – 2011 – Errores debido a la metodología de toma de datos.

| AUTOS | | BUSES | | CAMIONES TIPO C2P | | CAMIONES TIPO C2G | |
|-------|------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar | No. | Lectura en Radar |
| 22 | 57 | 22 | 46 | 22 | 68 | 22 | 39 |
| 23 | 71 | 23 | 65 | 23 | 60 | 23 | 45 |
| 24 | 61 | 24 | 60 | 24 | 61 | 24 | 45 |
| 25 | 47 | 25 | 47 | 25 | 53 | 25 | 70 |
| 26 | 73 | 26 | 63 | 26 | 49 | 26 | 84 |
| 27 | 56 | 27 | 59 | 27 | 47 | 27 | 70 |
| 28 | 55 | 28 | 66 | 28 | 59 | 28 | 53 |
| 29 | 53 | 29 | 68 | 29 | 64 | 29 | 60 |
| 30 | 69 | 30 | 66 | 30 | 68 | 30 | 81 |

Según estos resultados es posible calcular variables estadísticas que permitan observar el comportamiento de dispersión del muestreo piloto. Obteniendo valores de media (X), desviación estándar (S) y varianza (Δ) para cada categoría vehicular, así:

Cuadro 4. Variables Estadísticas para Cálculo de Tamaño de Muestra

| AUTOS | | BUSES | | CAMIONES TIPO C2P | | CAMIONES TIPO C2G | |
|------------|-------|------------|-------|-------------------|-------|-------------------|--------|
| X = | 62.67 | X = | 58.43 | X = | 60.37 | X = | 64.10 |
| S = | 8.44 | S = | 8.01 | S = | 8.04 | S = | 13.66 |
| Δ = | 71.20 | Δ = | 64.12 | Δ = | 64.65 | Δ = | 186.64 |

Según las medidas estadísticas calculadas es posible estimar al error permitido (E) como un porcentaje de la media de los datos obtenidos. Por ello para el cálculo de la muestra N se tomó al error como el equivalente al 5% de la magnitud de media obtenida en el muestreo piloto.

$$E = 5\% * X \quad (2)$$

Cuadro 5. Error Permitido - Cálculo de Tamaño de Muestra

| AUTOS | | BUSES | | CAMIONES TIPO C2P | | CAMIONES TIPO C2G | |
|-------|------|-------|------|-------------------|------|-------------------|------|
| E = | 3.13 | E = | 2.92 | E = | 3.02 | E = | 3.21 |

Se acreditará que estos errores permitidos y calculados, mediante el proceso anterior abarcaran errores de instrumentación (Pistola de radar), manejabilidad del equipo y vulnerabilidad del estudio, tales como la variación del comportamiento del conductor, error humano y error de coseno.

En el caso del comportamiento de los conductores “Pocos estudios han analizado la influencia de estos errores en los datos finales obtenidos. En algunos de ellos se limitan a citar que durante la toma de datos se realizó un gran esfuerzo para ocultar a los observadores pero no se especifica como de ocultos estaban”.²⁹

Ante lo anterior se procede a emplear la ecuación (1) mencionada junto con las variables ya argumentadas y deducidas, todo sin olvidar que según referencia bibliográfica “el tamaño de la muestra nunca podrá ser menor de 30”³⁰.

Cuadro 6. Tamaño de Muestra

| CATEGORÍA VEHICULAR | VARIABLES EN OPERACIÓN | TAMAÑO DE MUESTRA CALCULADO | TAMAÑO DE MUESTRA CONSIDERADA |
|---------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|
| AUTOS | $N = \left(\frac{8 * 2}{3.13}\right)^2$ | N = 26.08 ≈ 27 | N = 30 |
| BUSES | $N = \left(\frac{8 * 2}{2.92}\right)^2$ | N = 29.99 ≈ 30 | N = 30 |
| CAMIONES TIPO C2P | $N = \left(\frac{8 * 2}{3.02}\right)^2$ | N = 28.10 ≈ 29 | N = 30 |
| CAMIONES TIPO C2G | $N = \left(\frac{8 * 2}{3.21}\right)^2$ | N = 24.92 ≈ 25 | N = 30 |

Dando como resultado una muestra de treinta (30) mediciones de velocidad instantánea por categoría vehicular y elemento. Todo esto según las especificaciones estadísticas antes mencionadas.

2.1.4. Método de obtención de las muestras. En la recolección de datos, se deberán tener en cuenta una serie de factores. Todas las medidas de velocidad en el campo deben ser aleatorias y representativas de las condiciones de flujo libre en el flujo de tránsito. Además, que la bibliográfica respectiva recomienda lo siguiente:

- Observar siempre el primer vehículo en un fila vehicular, ya que los vehículos que siguen pueden estar viajando a la velocidad del primer vehículo por no poder pasarlo.

²⁹Ibíd. Pág. 39. – 2011 – Errores debido a la metodología de toma de datos.

³⁰MANUAL DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano Para las Ciudades Medias Mexicanas
Manual Normativo - Tomo XII – Pag. 23

- Tener siempre en cuenta las condiciones de perpendicularidad de enfoque del radar para de esta forma no dar pie a un error de medición por mal uso de equipo.

3. EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL TRAMO DE ESTUDIO MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE DISEÑO Y OPERACIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL TRAMO DE VÍA

Para ejecutar el programa de medición de velocidad propuesto, se detallaron geoméricamente e identificaron los elementos contenidos en el tramo vial. Se obtuvo el siguiente cuadro resumen.

Abreviaturas del cuadro:

- S** : sentido
- R** : Longitud del radio de la curva
- Δx** : Angulo de deflexión
- EXT** : Distancia Externa
- Te** : Tangente
- PC** : Punto comienzo de curva
- PT** : Punto término de curva

Cuadro 7. Identificación de los Elementos Geométricos del Tramo

| No. ELM. | ELM. | S | R | Δx | EXT | Te | ABSCISA | ABSCISA | LONGITUD ELEMENTO (Lc) | PENDIENTE (%) |
|-------------|------|---|---------|----------------|--------|--------|----------------|----------------|------------------------------|------------------|
| | | | | | | | TC / PC | CT / PT | | |
| 1 | C | I | 96.472 | 48° 20' 05.00" | 9.268 | 43.29 | K 52 + 962.471 | K 53 + 043.855 | 81.384 | 5.853 |
| 2 | T | | | | | | K 53 + 043.855 | K 53 + 145.918 | 102.063 | 5.853 |
| 3 | C | D | 103.391 | 37° 25' 16.00" | 5.769 | 35.017 | K 53 + 145.918 | K 53 + 213.445 | 67.527 | 5.853 |
| 4 | T | | | | | | K 53 + 213.445 | K 53 + 253.532 | 40.087 | 5.853 |
| 5 | C | I | 249.848 | 10° 27' 18.00" | 1.044 | 22.859 | K 53 + 253.532 | K 53 + 299.123 | 45.591 | 5.853 |
| 6 | T | | | | | | K 53 + 299.123 | K 53 + 406.162 | 107.039 | 5.853 |
| 7 | C | D | 165.111 | 19° 02' 23.00" | 2.306 | 27.689 | K 53 + 406.162 | K 53 + 461.029 | 54.867 | 5.853 |
| 8 | T | | | | | | K 53 + 461.029 | K 53 + 539.297 | 78.268 | 5.853 |
| 9 | C | I | 83.505 | 56° 45' 05.00" | 11.403 | 45.105 | K 53 + 539.297 | K 53 + 622.009 | 82.712 | 5.853 |
| 10 | T | | | | | | K 53 + 622.009 | K 53 + 750.632 | 128.623 | 5.853 |
| 11 | C | D | 126.801 | 63° 44' 14.00" | 22.506 | 78.83 | K 53 + 750.632 | K 53 + 891.689 | 141.057 | 5.853 |
| 12 | T | | | | | | K 53 + 891.689 | K 53 + 986.566 | 94.877 | 5.853 |
| 13 | C | I | 236.148 | 18° 51' 22.00" | 3.234 | 39.213 | K 53 + 986.566 | K 54 + 064.283 | 77.717 | 5.853 |
| 14 | T | | | | | | K 54 + 064.283 | K 54 + 187.398 | 123.115 | 5.853 |

| No. ELM. | ELM. | S | R | Δx | EXT | Te | ABSCISA | ABSCISA | LONGITUD ELEMENTO (Lc) | PENDIENTE (%) |
|----------|------|---|----------|----------------|--------|---------|----------------|----------------|------------------------|---------------|
| | | | | | | | TC / PC | CT / PT | | |
| 15 | C | D | 118.742 | 36° 10' 56.00" | 6.175 | 38.79 | K 54 + 187.398 | K 54 + 262.383 | 74.985 | 5.853 |
| 16 | T | | | | | | K 54 + 262.383 | K 54 + 409.208 | 146.825 | 5.853 |
| 17 | C | I | 63.935 | 74° 00' 48.00" | 16.127 | 48.19 | K 54 + 409.208 | K 54 + 491.798 | 82.590 | 5.853 |
| 18 | T | | | | | | K 54 + 491.798 | K 54 + 541.294 | 49.496 | 5.853 |
| 19 | C | D | 171.017 | 13° 40' 34.00" | 1.225 | 20.508 | K 54 + 541.294 | K 54 + 582.115 | 40.821 | 5.853 |
| 20 | T | | | | | | K 54 + 582.115 | K 54 + 659.848 | 77.733 | 5.853 |
| 21 | C | I | 130.239 | 20° 44' 05.00" | 2.162 | 23.827 | K 54 + 659.848 | K 54 + 706.980 | 47.132 | 5.853 |
| 22 | T | | | | | | K 54 + 706.980 | K 54 + 764.876 | 57.896 | 5.853 |
| 23 | C | D | 134.987 | 20° 36' 49.00" | 2.214 | 24.548 | K 54 + 764.876 | K 54 + 813.441 | 48.565 | 5.853 |
| 24 | T | | | | | | K 54 + 813.441 | K 54 + 914.059 | 100.618 | 5.853 |
| 25 | C | D | 116.733 | 38° 57' 52.00" | 7.089 | 41.297 | K 54 + 914.059 | K 54 + 993.444 | 79.385 | 5.853 |
| 26 | T | | | | | | K 54 + 993.444 | K 55 + 170.391 | 176.947 | 5.853 |
| 27 | C | D | 439.257 | 10° 46' 28.00" | 1.949 | 41.423 | K 55 + 170.391 | K 55 + 252.993 | 82.602 | 5.853 |
| 28 | T | | | | | | K 55 + 252.993 | K 55 + 458.880 | 205.887 | 5.853 |
| 29 | C | D | 225.236 | 21° 41' 14.00" | 4.095 | 43.144 | K 55 + 458.880 | K 55 + 544.135 | 85.255 | 5.853 |
| 30 | T | | | | | | K 55 + 544.135 | K 55 + 736.939 | 192.804 | 5.853 |
| 31 | C | D | 1128.202 | 3° 35' 04.00" | 0.552 | 35.302 | K 55 + 736.939 | K 55 + 807.520 | 70.581 | 5.853 |
| 32 A* | T | | | | | | K 55 + 807.520 | K 56 + 138.523 | 331.003 | 5.853 |
| 32 B* | T | | | | | | K 56 + 138.523 | K 56 + 469.526 | 331.003 | 5.853 |
| 33 | C | I | 71.883 | 80° 03' 36.00" | 21.995 | 60.381 | K 56 + 469.526 | K 56 + 569.969 | 100.443 | 5.853 |
| 34 | T | | | | | | K 56 + 569.969 | K 56 + 753.598 | 183.629 | 5.853 |
| 35 | C | D | 111.162 | 76° 40' 40.00" | 30.562 | 87.913 | K 56 + 753.598 | K 56 + 902.364 | 148.766 | 5.853 |
| 36 | T | | | | | | K 56 + 902.364 | K 57 + 011.943 | 109.579 | 5.853 |
| 37 | C | I | 137.326 | 21° 39' 10.00" | 2.489 | 26.262 | K 57 + 011.943 | K 57 + 063.840 | 51.897 | 5.853 |
| 38 | T | | | | | | K 57 + 063.840 | K 57 + 273.271 | 209.431 | 5.853 |
| 39 | C | D | 187.027 | 21° 32' 31.00" | 3.354 | 35.579 | K 57 + 273.271 | K 57 + 343.589 | 70.318 | 5.853 |
| 40 | T | | | | | | K 57 + 343.589 | K 57 + 807.819 | 464.230 | 5.853 |
| 41 | C | I | 176.38 | 17° 43' 04.00" | 2.13 | 27.491 | K 57 + 807.819 | K 57 + 862.362 | 54.543 | 5.853 |
| 42 | T | | | | | | K 57 + 862.362 | K 57 + 952.206 | 89.844 | 5.853 |
| 43 | C | D | 172.095 | 19° 15' 41.00" | 2.46 | 29.203 | K 57 + 952.206 | K 58 + 010.060 | 57.854 | 5.853 |
| 44 | T | | | | | | K 58 + 010.060 | K 58 + 331.105 | 321.045 | 5.853 |
| 45 | C | D | 117.852 | 40° 05' 17.00" | 7.599 | 42.997 | K 58 + 331.105 | K 58 + 413.562 | 82.457 | 5.853 |
| 46 | T | | | | | | K 58 + 413.562 | K 58 + 668.031 | 254.469 | 5.853 |
| 47 | C | I | 148.673 | 46° 23' 46.00" | 13.078 | 63.715 | K 58 + 668.031 | K 58 + 788.421 | 120.390 | 5.853 |
| 48 | T | | | | | | K 58 + 788.421 | K 58 + 933.157 | 144.736 | 5.853 |
| 49 | C | D | 140.709 | 71° 39' 24.00" | 32.84 | 101.588 | K 58 + 933.157 | K 59 + 109.134 | 175.977 | 5.853 |
| 50 | T | | | | | | K 59 + 109.134 | K 59 + 324.044 | 214.910 | 5.853 |

| No. ELM. | ELM. | S | R | Δx | EXT | Te | ABSCISA | ABSCISA | LONGITUD ELEMENTO (Lc) | PENDIENTE (%) |
|----------|------|---|----------|-----------------|-----------|-----------|----------------|----------------|------------------------|---------------|
| | | | | | | | TC / PC | CT / PT | | |
| 51 | C | I | 142.988 | 108° 51' 53.00" | 102.838 | 199.962 | K 59 + 324.044 | K 59 + 595.728 | 271.684 | 5.853 |
| 52 | T | | | | | | K 59 + 595.728 | K 59 + 662.814 | 67.086 | 5.853 |
| 53 | C | I | 141.947 | 38° 37' 38.00" | 8.465 | 49.747 | K 59 + 662.814 | K 59 + 758.511 | 95.697 | 5.853 |
| 54 | T | | | | | | K 59 + 758.511 | K 59 + 856.604 | 98.093 | 5.853 |
| 55 | C | D | 103.553 | 41° 12' 04.00" | 7.074 | 38.924 | K 59 + 856.604 | K 59 + 931.068 | 74.464 | 5.853 |
| 56 | T | | | | | | K 59 + 931.068 | K 60 + 036.094 | 105.026 | 5.853 |
| 57 | C | I | 111.732 | 40° 29' 13.00" | 7.356 | 41.206 | K 60 + 036.094 | K 60 + 115.047 | 78.953 | 5.853 |
| 58 | T | | | | | | K 60 + 115.047 | K 60 + 174.066 | 59.019 | 5.853 |
| 59 | C | D | 98.119 | 27° 53' 11.00" | 2.979 | 24.361 | K 60 + 174.066 | K 60 + 221.821 | 47.755 | 5.853 |
| 60 | T | | | | | | K 60 + 221.821 | K 60 + 269.520 | 47.699 | 5.853 |
| 61 | C | I | 87.848 | 53° 54' 18.00" | 10.705 | 44.669 | K 60 + 269.520 | K 60 + 352.169 | 82.649 | 5.853 |
| 62 | T | | | | | | K 60 + 352.169 | K 60 + 534.629 | 182.460 | 5.853 |
| 63 | C | D | 60.7 | 152° 06' 43.00" | 191.195 | 244.472 | K 60 + 534.629 | K 60 + 695.779 | 161.150 | 5.853 |
| 64 | T | | | | | | K 60 + 695.779 | K 60 + 847.291 | 151.512 | 5.853 |
| 65 | C | D | 115.246 | 21° 29' 32.00" | 2.057 | 21.872 | K 60 + 847.291 | K 60 + 890.521 | 43.230 | 5.853 |
| 66 | T | | | | | | K 60 + 890.521 | K 60 + 973.202 | 82.681 | 5.853 |
| 67 | C | I | 95.815 | 83° 09' 25.00" | 32.272 | 85.004 | K 60 + 973.202 | K 61 + 112.264 | 139.062 | 5.853 |
| 68 | T | | | | | | K 61 + 112.264 | K 61 + 339.953 | 227.689 | 5.853 |
| 69 | C | D | 154.895 | 38° 56' 27.00" | 9.395 | 54.761 | K 61 + 339.953 | K 61 + 445.227 | 105.274 | 5.853 |
| 70 | T | | | | | | K 61 + 445.227 | K 61 + 600.805 | 155.578 | 5.853 |
| 71 | C | I | 78.322 | 178° 17' 58.00" | 5199.582 | 5277.323 | K 61 + 600.805 | K 61 + 844.536 | 243.731 | 5.853 |
| 72 | T | | | | | | K 61 + 844.536 | K 62 + 092.970 | 248.434 | 5.853 |
| 73 | C | D | 192.04 | 67° 51' 33.00" | 39.41 | 129.189 | K 62 + 092.970 | K 62 + 320.416 | 227.446 | 5.853 |
| 74 | T | | | | | | K 62 + 320.416 | K 62 + 663.536 | 343.120 | 5.853 |
| 75 | C | I | 82.624 | 125° 55' 57.00" | 99.161 | 161.923 | K 62 + 663.536 | K 62 + 845.138 | 181.602 | 5.853 |
| 76 | T | | | | | | K 62 + 845.138 | K 62 + 934.585 | 89.447 | 5.853 |
| 77 | C | D | 152.033 | 55° 12' 45.00" | 19.532 | 79.502 | K 62 + 934.585 | K 63 + 081.090 | 146.505 | 5.853 |
| 78 | T | | | | | | K 63 + 081.090 | K 63 + 167.501 | 86.411 | 5.853 |
| 79 | C | I | 137.188 | 47° 13' 26.00" | 12.535 | 59.97 | K 63 + 167.501 | K 63 + 280.573 | 113.072 | 5.853 |
| 80 | T | | | | | | K 63 + 280.573 | K 63 + 359.277 | 78.704 | 5.853 |
| 81 | C | D | 171.8 | 165° 22' 30.00" | 1177.969 | 1338.791 | K 63 + 359.277 | K 63 + 386.531 | 27.254 | 5.853 |
| | | | | | | | K 63 + 386.531 | K 63 + 786.531 | 400.000 | CURV. CONVX. |
| | | | | | | | K 63 + 786.531 | K 63 + 835.290 | 48.759 | -0.141 |
| | | | | | | | K 63 + 835.290 | K 63 + 942.860 | 107.570 | CURV. CONCV. |
| 82 | T | | | | | | K 63 + 942.860 | K 64 + 713.255 | 770.395 | 5.887 |
| 83 | C | D | 1859.521 | 173° 27' 31.00" | 30733.126 | 32539.558 | K 64 + 713.255 | K 64 + 925.000 | 211.745 | 5.887 |
| 84 | T | | | | | | K 64 + 925.000 | K 65 + 220.779 | 295.779 | 5.887 |

| No. ELM. | ELM. | S | R | Δx | EXT | Te | ABSCISA | ABSCISA | LONGITUD ELEMENTO (Lc) | PENDIENTE (%) |
|----------|------|---|---------|-----------------|---------|---------|----------------|----------------|------------------------|---------------|
| | | | | | | | TC / PC | CT / PT | | |
| 85 | C | D | 297.669 | 19° 40' 33.00" | 4.443 | 51.619 | K 65 + 220.779 | K 65 + 323.001 | 102.222 | 5.887 |
| 86 | T | | | | | | K 65 + 323.001 | K 65 + 442.223 | 119.222 | 5.887 |
| 87 | C | I | 84.916 | 105° 14' 23.00" | 54.955 | 111.145 | K 65 + 442.223 | K 65 + 598.195 | 155.972 | 5.887 |
| 88 | T | | | | | | K 65 + 598.195 | K 65 + 663.296 | 65.101 | 5.887 |
| 89 | C | D | 192.001 | 80° 05' 50.00" | 58.817 | 161.386 | K 65 + 663.296 | K 65 + 931.706 | 268.410 | 5.887 |
| 90 | T | | | | | | K 65 + 931.706 | K 66 + 210.600 | 278.894 | 5.887 |
| 91 | C | I | 177.855 | 32° 01' 06.00" | 7.176 | 51.03 | K 66 + 210.600 | K 66 + 309.990 | 99.390 | 5.887 |
| 92 | T | | | | | | K 66 + 309.990 | K 66 + 427.248 | 117.258 | 5.887 |
| 93 | C | D | 79.84 | 146° 08' 24.00" | 194.333 | 262.291 | K 66 + 427.248 | K 66 + 630.890 | 203.642 | 5.887 |
| 94 | T | | | | | | K 66 + 630.890 | K 66 + 702.198 | 71.308 | 5.887 |
| 95 | C | I | 99.09 | 74° 03' 19.00" | 25.029 | 74.745 | K 66 + 702.198 | K 66 + 830.273 | 128.075 | 5.887 |
| 96 | T | | | | | | K 66 + 830.273 | K 67 + 047.215 | 216.942 | 5.887 |
| 97 | C | I | 104.011 | 53° 19' 15.00" | 12.374 | 52.222 | K 67 + 047.215 | K 67 + 144.010 | 96.795 | 5.887 |
| 98 | T | | | | | | K 67 + 144.010 | K 67 + 442.513 | 298.503 | 5.887 |
| 99 | C | I | 501.602 | 22° 30' 16.00" | 9.831 | 99.795 | K 67 + 442.513 | K 67 + 639.531 | 197.018 | 5.887 |
| 100 | T | | | | | | K 67 + 639.531 | K 67 + 803.447 | 163.916 | 5.887 |
| 101 | C | D | 61.615 | 95° 32' 55.00" | 30.067 | 67.891 | K 67 + 803.447 | K 67 + 906.199 | 102.752 | 5.887 |
| 102 | T | | | | | | K 67 + 906.199 | K 67 + 985.509 | 79.310 | 5.887 |
| 103 | C | I | 69.748 | 79° 49' 57.00" | 21.19 | 58.352 | K 67 + 985.509 | K 68 + 082.692 | 97.183 | 5.887 |

Fuente: Planos de Diseños Geométricos y Este Estudio

*El elemento 32 representa la tangente que contiene el peaje (Punto de control vehicular), siendo este el motivo por el cual se dividió el tramo en dos y de esta forma poder detallar la velocidad de operación en cada una de sus partes.

En el cuadro anterior se observa que se enumeró cada uno de los elementos, se inició con el elemento No. 1 en el kilómetro 53 y se finalizó con el elemento No. 103 en el kilómetro 68. (Mayores detalles geométricos de cada elemento se encuentran en Anexos)

Adicionalmente, el Cuadro 7 permitió a través de la magnitud y signo de su pendiente identificar el sentido de ascenso y descenso del tramo vial. Las condiciones para cada consideración en el sentido se resumen a continuación.

Cuadro 8. Análisis de Pendientes

| SENTIDO ASCENSO * | SENTIDO DESCENSO * |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Delimita el sentido Ipiales – Pasto, en base a la pendiente longitudinal positiva de los elementos en este sentido.• Refleja el sentido del kilómetro 53 al kilómetro 68. | <ul style="list-style-type: none">• Delimita el sentido Pasto – Ipiales, en base a la pendiente longitudinal negativa de los elementos en este sentido.• Refleja el sentido del kilómetro 68 al kilómetro 53. |

* Este análisis se hace teniendo en cuenta la geometría únicamente de los elementos consignados en los 15 km de estudio. (K 53 a K 68).

3.2. VELOCIDADES DE OPERACIÓN

Para este caso, se realizaron las mediciones de velocidad de operación. Dicho procedimiento permitió obtener la muestra de velocidad respecto a cada tipo de vehículo analizado, actividad que se llevó a cabo en cada elemento bajo las condiciones planteadas para este estudio. (El Anexo A, Formato utilizado en campo para la medición de velocidades).

Se interpretaron las muestras de velocidad de operación obtenidas para cada elemento según los alcances investigativos. Para ello, se recurrió al “Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito” de la ciudad de México, el cual plantea un modelo a seguir para el procesamiento de información y de esta forma aprovechar toda la información obtenida para caracterizar los elementos bajo una velocidad de operación, que describe en su mayoría el comportamiento de los conductores en el mismo.

A continuación en el Cuadro 9, se desarrolla el procedimiento de análisis para el elemento No. 1, para los 102 elementos restantes el procedimiento será el mismo.

Cuadro 9. Información Obtenida de la Medición de velocidad de Operación para el Elemento No.1

| No. | ASCENSO | | | | DESCENSO | | | |
|-----|------------------------|-------|--------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|
| | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| | Lectura en Radar (KPH) | | | | | | | |
| 1 | 61 | 54 | 44 | 53 | 40 | 62 | 44 | 43 |
| 2 | 56 | 62 | 44 | 35 | 55 | 60 | 70 | 52 |
| 3 | 50 | 51 | 32 | 59 | 64 | 63 | 60 | 50 |
| 4 | 49 | 57 | 62 | 72 | 58 | 45 | 61 | 34 |
| 5 | 54 | 51 | 63 | 64 | 54 | 47 | 60 | 40 |
| 6 | 51 | 59 | 55 | 37 | 67 | 64 | 61 | 36 |
| 7 | 51 | 62 | 57 | 51 | 71 | 50 | 61 | 37 |
| 8 | 61 | 62 | 50 | 50 | 63 | 48 | 44 | 33 |
| 9 | 66 | 62 | 60 | 50 | 56 | 44 | 52 | 42 |
| 10 | 73 | 49 | 59 | 47 | 59 | 54 | 51 | 49 |
| 11 | 65 | 51 | 47 | 40 | 55 | 49 | 44 | 43 |
| 12 | 68 | 63 | 52 | 45 | 66 | 51 | 53 | 49 |
| 13 | 67 | 51 | 46 | 54 | 61 | 63 | 53 | 37 |
| 14 | 72 | 55 | 54 | 52 | 62 | 60 | 60 | 54 |
| 15 | 55 | 55 | 31 | 56 | 63 | 55 | 65 | 42 |
| 16 | 56 | 49 | 53 | 45 | 62 | 60 | 53 | 46 |
| 17 | 53 | 63 | 36 | 57 | 64 | 50 | 66 | 38 |
| 18 | 60 | 64 | 44 | 49 | 60 | 62 | 42 | 50 |
| 19 | 84 | 57 | 50 | 60 | 69 | 60 | 60 | 50 |
| 20 | 67 | 54 | 45 | 63 | 68 | 48 | 48 | 47 |
| 21 | 51 | 64 | 39 | 49 | 57 | 61 | 69 | 33 |
| 22 | 49 | 49 | 37 | 37 | 55 | 47 | 60 | 49 |
| 23 | 57 | 53 | 42 | 67 | 59 | 56 | 59 | 33 |
| 24 | 50 | 55 | 38 | 41 | 40 | 50 | 67 | 32 |
| 25 | 57 | 51 | 39 | 56 | 54 | 50 | 62 | 36 |
| 26 | 68 | 50 | 43 | 47 | 75 | 51 | 56 | 49 |
| 27 | 69 | 51 | 45 | 62 | 73 | 58 | 72 | 44 |
| 28 | 73 | 60 | 59 | 66 | 59 | 60 | 61 | 44 |
| 29 | 48 | 57 | 31 | 54 | 69 | 47 | 72 | 39 |
| 30 | 65 | 53 | 58 | 42 | 65 | 49 | 72 | 42 |

Para analizar la información anterior, fue necesario evaluar estadísticamente la muestra y obtener intervalos de clase que permitan mediante la frecuencia del suceso dentro de intervalo, identificar el porcentaje acumulativo representativo al percentil 85 que refleja la velocidad de operación del elemento. (Según la definición de Velocidad de Operación previamente establecida).

Cuadro 10. Tabla de Frecuencias Relativas y Acumuladas de Autos en Ascenso del Elemento No. 1

| FRONTERA DE GRUPOS (KPH) | INTERVALOS (KPH) | | VALORES MEDIOS (KPH) | FRECUENCIA | FRECUENCIA RELATIVA (%) | FRECUENCIA ACUMULATIVA (%) |
|--------------------------|------------------|----|----------------------|------------|-------------------------|----------------------------|
| 49.50 | 48 | 49 | 48.50 | 3 | 10.00 | 10.00 |
| 51.50 | 50 | 51 | 50.50 | 5 | 16.67 | 26.67 |
| 53.50 | 52 | 53 | 52.50 | 1 | 3.33 | 30.00 |
| 55.50 | 54 | 55 | 54.50 | 2 | 6.67 | 36.67 |
| 57.50 | 56 | 57 | 56.50 | 4 | 13.33 | 50.00 |
| 59.50 | 58 | 59 | 58.50 | 0 | 0.00 | 50.00 |
| 61.50 | 60 | 61 | 60.50 | 3 | 10.00 | 60.00 |
| 63.50 | 62 | 63 | 62.50 | 0 | 0.00 | 60.00 |
| 65.50 | 64 | 65 | 64.50 | 2 | 6.67 | 66.67 |
| 67.50 | 66 | 67 | 66.50 | 3 | 10.00 | 76.67 |
| 69.50 | 68 | 69 | 68.50 | 3 | 10.00 | 86.67 |
| 71.50 | 70 | 71 | 70.50 | 0 | 0.00 | 86.67 |
| 73.50 | 72 | 73 | 72.50 | 3 | 10.00 | 96.67 |
| 75.50 | 74 | 75 | 74.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 77.50 | 76 | 77 | 76.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 79.50 | 78 | 79 | 78.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 81.50 | 80 | 81 | 80.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 83.50 | 82 | 83 | 82.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 85.50 | 84 | 85 | 84.50 | 1 | 3.33 | 100.00 |
| | | | | 30 | 100.00 | |

Para este esquema estadístico se referencia que la velocidad de operación es a la que circula el 85% de los vehículos. Debido que el percentil 85% no siempre corresponde en magnitud idéntica a los obtenidos en un análisis de frecuencias acumuladas, este tan solo se empleara como base percentil para ubicar la frecuencia acumulada más cercana y de esta forma mantener la uniformidad del procedimiento de cálculo de la velocidad de operación.

De esta forma en este caso en particular la cercanía del percentil 85 con la frecuencia acumulada 86.67 permiten identificar a la frontera de clase 71.50 KPH como la velocidad de operación, la cual tan solo es excedida por el 13.33% de los Autos circulantes por el elemento.

Cuadro 11. Frecuencias Relativas y Acumuladas de Buses en Ascenso del Elemento No. 1

| FRONTERA DE GRUPOS (KPH) | INTERVALOS (KPH) | | VALORES MEDIOS (KPH) | FRECUENCIA | FRECUENCIA RELATIVA (%) | FRECUENCIA ACUMULATIVA (%) |
|--------------------------|------------------|----|----------------------|------------|-------------------------|----------------------------|
| 50.50 | 49 | 50 | 49.50 | 4 | 13.33 | 13.33 |
| 52.50 | 51 | 52 | 51.50 | 6 | 20.00 | 33.33 |
| 54.50 | 53 | 54 | 53.50 | 4 | 13.33 | 46.67 |
| 56.50 | 55 | 56 | 55.50 | 3 | 10.00 | 56.67 |
| 58.50 | 57 | 58 | 57.50 | 3 | 10.00 | 66.67 |
| 60.50 | 59 | 60 | 59.50 | 2 | 6.67 | 73.33 |
| 62.50 | 61 | 62 | 61.50 | 4 | 13.33 | 86.67 |
| 64.50 | 63 | 64 | 63.50 | 4 | 13.33 | 100.00 |
| | | | | 30 | 100.00 | |

El cuadro de Frecuencias se calculara de igual forma que el anterior. Además el procedimiento de identificación de la velocidad de operación se conservara reconociendo a la frontera de clase 62.50 KPH como la velocidad de operación de buses en ascenso en el elemento No.1 ya es tan solo excedida por el 13.33% de los Buses en ascenso circulantes por el elemento.

Cuadro 12. Frecuencias Relativas y Acumuladas de Camiones C2P en Ascenso del Elemento No. 1

| FRONTERA DE GRUPOS (KPH) | INTERVALOS (KPH) | | VALORES MEDIOS (KPH) | FRECUENCIA | FRECUENCIA RELATIVA (%) | FRECUENCIA ACUMULATIVA (%) |
|--------------------------|------------------|----|----------------------|------------|-------------------------|----------------------------|
| 32.50 | 31 | 32 | 31.50 | 3 | 10.00 | 10.00 |
| 34.50 | 33 | 34 | 33.50 | 0 | 0.00 | 10.00 |
| 36.50 | 35 | 36 | 35.50 | 1 | 3.33 | 13.33 |
| 38.50 | 37 | 38 | 37.50 | 2 | 6.67 | 20.00 |
| 40.50 | 39 | 40 | 39.50 | 2 | 6.67 | 26.67 |
| 42.50 | 41 | 42 | 41.50 | 1 | 3.33 | 30.00 |
| 44.50 | 43 | 44 | 43.50 | 4 | 13.33 | 43.33 |
| 46.50 | 45 | 46 | 45.50 | 3 | 10.00 | 53.33 |
| 48.50 | 47 | 48 | 47.50 | 1 | 3.33 | 56.67 |
| 50.50 | 49 | 50 | 49.50 | 2 | 6.67 | 63.33 |
| 52.50 | 51 | 52 | 51.50 | 1 | 3.33 | 66.67 |
| 54.50 | 53 | 54 | 53.50 | 2 | 6.67 | 73.33 |
| 56.50 | 55 | 56 | 55.50 | 1 | 3.33 | 76.67 |
| 58.50 | 57 | 58 | 57.50 | 2 | 6.67 | 83.33 |
| 60.50 | 59 | 60 | 59.50 | 3 | 10.00 | 93.33 |
| 62.50 | 61 | 62 | 61.50 | 1 | 3.33 | 96.67 |
| 64.50 | 63 | 64 | 63.50 | 1 | 3.33 | 100.00 |
| | | | | 30 | 100.00 | |

Conservando el modelo de identificación previamente propuesto en este caso se reconoce la frontera de clase 58.5 KPH como velocidad de operación de los vehículos considerando que por debajo de esta circulan el 83,33% de los camiones tipo C2P en el elemento.

Cuadro 13. Tabla de Frecuencias Relativas y Acumuladas de Camiones C2G en Ascenso del Elemento No. 1

| FRONTERA DE GRUPOS (KPH) | INTERVALOS (KPH) | | VALORES MEDIOS (KPH) | FRECUENCIA | FRECUENCIA RELATIVA (%) | FRECUENCIA ACUMULATIVA (%) |
|--------------------------|------------------|----|----------------------|------------|-------------------------|----------------------------|
| 36.50 | 35 | 36 | 35.50 | 1 | 3.33 | 3.33 |
| 38.50 | 37 | 38 | 37.50 | 2 | 6.67 | 10.00 |
| 40.50 | 39 | 40 | 39.50 | 1 | 3.33 | 13.33 |
| 42.50 | 41 | 42 | 41.50 | 2 | 6.67 | 20.00 |
| 44.50 | 43 | 44 | 43.50 | 0 | 0.00 | 20.00 |
| 46.50 | 45 | 46 | 45.50 | 2 | 6.67 | 26.67 |
| 48.50 | 47 | 48 | 47.50 | 2 | 6.67 | 33.33 |
| 50.50 | 49 | 50 | 49.50 | 4 | 13.33 | 46.67 |
| 52.50 | 51 | 52 | 51.50 | 2 | 6.67 | 53.33 |
| 54.50 | 53 | 54 | 53.50 | 3 | 10.00 | 63.33 |
| 56.50 | 55 | 56 | 55.50 | 2 | 6.67 | 70.00 |
| 58.50 | 57 | 58 | 57.50 | 1 | 3.33 | 73.33 |
| 60.50 | 59 | 60 | 59.50 | 2 | 6.67 | 80.00 |
| 62.50 | 61 | 62 | 61.50 | 1 | 3.33 | 83.33 |
| 64.50 | 63 | 64 | 63.50 | 2 | 6.67 | 90.00 |
| 66.50 | 65 | 66 | 65.50 | 1 | 3.33 | 93.33 |
| 68.50 | 67 | 68 | 67.50 | 1 | 3.33 | 96.67 |
| 70.50 | 69 | 70 | 69.50 | 0 | 0.00 | 96.67 |
| 72.50 | 71 | 72 | 71.50 | 1 | 3.33 | 100.00 |
| | | | | 30 | 100.00 | |

Conservando el modelo de identificación previamente propuesto en este caso se reconoce a la frontera de clase 58.5 KPH como la velocidad de operación de los vehículos considerando que por debajo de esta circulan el 83,33% de los camiones tipo C2P sobre el elemento.

Este mismo procedimiento se desarrolló para la información muestral obtenida en el mismo elemento en sentido de descenso. Obteniendo para este elemento el siguiente cuadro resumen.

Cuadro 14. Velocidades de Operación Elemento No. 1

| ASCENSO (KPH) | | | | DESCENSO (KPH) | | | |
|---------------|-------|--------------|--------------|----------------|-------|--------------|--------------|
| AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 71.5 | 62.5 | 58.5 | 62.5 | 67.5 | 61.5 | 69.5 | 49.5 |

De la misma forma se desarrolló el procesamiento de información para cada elemento, se procedieron a analizar las velocidades de operación obtenidas respecto a las de diseño y expresar de esta forma un parámetro de consistencia en cada elemento. El siguiente cuadro expresa en resumen la interpretación estadística para cada elemento y la velocidad de operación para cada tipo de vehículo circulante de acuerdo a su sentido de flujo.

Cuadro 15. Velocidades de Operación en Tramo

| No. | ELEM. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | |
|-----|-------|--|-------|--------------|--------------|---|-------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 1 | C | 71.5 | 62.5 | 58.5 | 62.5 | 67.5 | 61.5 | 69.5 | 49.5 |
| 2 | T | 77.5 | 53.5 | 64.5 | 71.5 | 80.5 | 63.5 | 75.5 | 54.5 |
| 3 | C | 71.5 | 66.5 | 61.5 | 46.5 | 76.5 | 65.5 | 69.5 | 61.5 |
| 4 | T | 78.5 | 69.5 | 70.5 | 67.5 | 77.5 | 63.5 | 70.5 | 61.5 |
| 5 | C | 75.5 | 60.5 | 67.5 | 65.5 | 77.5 | 69.5 | 80.5 | 66.5 |
| 6 | T | 80.5 | 64.5 | 69.5 | 54.5 | 77.5 | 58.5 | 71.5 | 70.5 |
| 7 | C | 77.5 | 61.5 | 68.5 | 55.5 | 70.5 | 63.5 | 61.5 | 52.5 |
| 8 | T | 82.5 | 63.5 | 58.5 | 57.5 | 71.5 | 60.5 | 69.5 | 68.5 |
| 9 | C | 68.5 | 63.5 | 59.5 | 59.5 | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 53.5 |
| 10 | T | 80.5 | 60.5 | 62.5 | 57.5 | 79.5 | 62.5 | 67.5 | 71.5 |
| 11 | C | 73.5 | 61.5 | 60.5 | 56.5 | 80.5 | 64.5 | 65.5 | 61.5 |
| 12 | T | 71.5 | 66.5 | 63.5 | 60.5 | 78.5 | 71.5 | 67.5 | 61.5 |
| 13 | C | 73.5 | 61.5 | 58.5 | 54.5 | 86.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 |
| 14 | T | 75.5 | 62.5 | 60.5 | 56.5 | 83.5 | 70.5 | 59.5 | 63.5 |
| 15 | C | 72.5 | 64.5 | 48.5 | 61.5 | 75.5 | 65.5 | 64.5 | 61.5 |
| 16 | T | 74.5 | 52.5 | 62.5 | 54.5 | 70.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 |
| 17 | C | 69.5 | 56.5 | 61.5 | 51.5 | 55.5 | 48.5 | 56.5 | 44.5 |
| 18 | T | 68.5 | 59.5 | 60.5 | 51.5 | 74.5 | 60.5 | 56.5 | 48.5 |
| 19 | C | 68.5 | 65.5 | 59.5 | 46.5 | 68.5 | 67.5 | 65.5 | 57.5 |
| 20 | T | 67.5 | 65.5 | 59.5 | 47.5 | 75.5 | 64.5 | 63.5 | 59.5 |
| 21 | C | 73.5 | 65.5 | 51.5 | 59.5 | 80.5 | 62.5 | 68.5 | 49.5 |
| 22 | T | 71.5 | 70.5 | 56.5 | 61.5 | 82.5 | 75.5 | 65.5 | 62.5 |
| 23 | C | 76.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 | 72.5 | 62.5 | 71.5 | 66.5 |

| No. | ELEM. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | |
|------|-------|--|-------|--------------|--------------|---|-------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 24 | T | 72.5 | 67.5 | 70.5 | 58.5 | 73.5 | 60.5 | 67.5 | 64.5 |
| 25 | C | 71.5 | 64.5 | 65.5 | 56.5 | 69.5 | 58.5 | 65.5 | 57.5 |
| 26 | T | 63.5 | 67.5 | 61.5 | 59.5 | 82.5 | 72.5 | 79.5 | 62.5 |
| 27 | C | 64.5 | 60.5 | 63.5 | 40.5 | 78.5 | 59.5 | 70.5 | 57.5 |
| 28 | T | 75.5 | 57.5 | 63.5 | 47.5 | 78.5 | 65.5 | 79.5 | 53.5 |
| 29 | C | 75.5 | 65.5 | 70.5 | 48.5 | 85.5 | 66.5 | 69.5 | 45.5 |
| 30 | T | 76.5 | 71.5 | 63.5 | 65.5 | 83.5 | 65.5 | 79.5 | 68.5 |
| 31 | C | 64.5 | 61.5 | 61.5 | 50.5 | 79.5 | 57.5 | 71.5 | 70.5 |
| 32 A | T | 60.5 | 55.5 | 54.5 | 52.5 | 51.5 | 45.5 | 47.5 | 39.5 |
| 32 B | T | 40.5 | 30.5 | 38.5 | 42.5 | 59.5 | 55.5 | 58.5 | 53.5 |
| 33 | C | 70.5 | 62.5 | 66.5 | 50.5 | 64.5 | 58.5 | 62.5 | 58.5 |
| 34 | T | 66.5 | 61.5 | 63.5 | 56.5 | 69.5 | 64.5 | 62.5 | 50.5 |
| 35 | C | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 50.5 | 61.5 | 60.5 | 66.5 | 61.5 |
| 36 | T | 67.5 | 66.5 | 67.5 | 56.5 | 74.5 | 68.5 | 73.5 | 62.5 |
| 37 | C | 70.5 | 56.5 | 67.5 | 47.5 | 79.5 | 58.5 | 61.5 | 59.5 |
| 38 | T | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 56.5 | 96.5 | 69.5 | 67.5 | 68.5 |
| 39 | C | 70.5 | 62.5 | 63.5 | 55.5 | 79.5 | 69.5 | 58.5 | 68.5 |
| 40 | T | 83.5 | 73.5 | 73.5 | 60.5 | 84.5 | 73.5 | 72.5 | 68.5 |
| 41 | C | 75.5 | 65.5 | 55.5 | 59.5 | 79.5 | 62.5 | 77.5 | 63.5 |
| 42 | T | 78.5 | 64.5 | 65.5 | 57.5 | 79.5 | 63.5 | 75.5 | 65.5 |
| 43 | C | 73.5 | 63.5 | 70.5 | 62.5 | 86.5 | 68.5 | 62.5 | 70.5 |
| 44 | T | 79.5 | 60.5 | 66.5 | 82.5 | 78.5 | 74.5 | 69.5 | 83.5 |
| 45 | C | 70.5 | 68.5 | 63.5 | 54.5 | 81.5 | 78.5 | 77.5 | 63.5 |
| 46 | T | 77.5 | 64.5 | 78.5 | 77.5 | 82.5 | 74.5 | 58.5 | 59.5 |
| 47 | C | 75.5 | 68.5 | 74.5 | 67.5 | 73.5 | 69.5 | 73.5 | 62.5 |
| 48 | T | 73.5 | 68.5 | 75.5 | 54.5 | 83.5 | 68.5 | 74.5 | 59.5 |
| 49 | C | 72.5 | 62.5 | 66.5 | 49.5 | 77.5 | 65.5 | 60.5 | 94.5 |
| 50 | T | 76.5 | 71.5 | 65.5 | 75.5 | 84.5 | 66.5 | 70.5 | 59.5 |
| 51 | C | 75.5 | 81.5 | 76.5 | 53.5 | 81.5 | 68.5 | 64.5 | 69.5 |
| 52 | T | 68.5 | 58.5 | 59.5 | 52.5 | 82.5 | 58.5 | 65.5 | 58.5 |
| 53 | C | 74.5 | 62.5 | 71.5 | 51.5 | 74.5 | 63.5 | 67.5 | 60.5 |
| 54 | T | 68.5 | 53.5 | 61.5 | 50.5 | 78.5 | 59.5 | 65.5 | 56.5 |
| 55 | C | 66.5 | 71.5 | 68.5 | 58.5 | 74.5 | 73.5 | 70.5 | 58.5 |
| 56 | T | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 58.5 | 67.5 | 57.5 | 62.5 | 57.5 |
| 57 | C | 66.5 | 65.5 | 68.5 | 57.5 | 73.5 | 58.5 | 66.5 | 59.5 |
| 58 | T | 73.5 | 60.5 | 72.5 | 60.5 | 75.5 | 65.5 | 67.5 | 58.5 |
| 59 | C | 73.5 | 63.5 | 66.5 | 56.5 | 72.5 | 61.5 | 73.5 | 57.5 |

| No. | ELEM. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | |
|-----|-------|--|-------|--------------|--------------|---|-------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 60 | T | 77.5 | 66.5 | 59.5 | 57.5 | 77.5 | 61.5 | 64.5 | 60.5 |
| 61 | C | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 63.5 | 71.5 | 62.5 | 65.5 | 57.5 |
| 62 | T | 73.5 | 72.5 | 64.5 | 61.5 | 78.5 | 62.5 | 67.5 | 60.5 |
| 63 | C | 64.5 | 57.5 | 57.5 | 53.5 | 64.5 | 56.5 | 55.5 | 55.5 |
| 64 | T | 76.5 | 63.5 | 57.5 | 56.5 | 78.5 | 65.5 | 56.5 | 64.5 |
| 65 | C | 61.5 | 53.5 | 48.5 | 58.5 | 68.5 | 69.5 | 63.5 | 65.5 |
| 66 | T | 75.5 | 59.5 | 57.5 | 64.5 | 82.5 | 61.5 | 67.5 | 58.5 |
| 67 | C | 72.5 | 54.5 | 52.5 | 48.5 | 70.5 | 56.5 | 48.5 | 52.5 |
| 68 | T | 75.5 | 66.5 | 58.5 | 55.5 | 82.5 | 68.5 | 63.5 | 45.5 |
| 69 | C | 69.5 | 62.5 | 57.5 | 59.5 | 79.5 | 60.5 | 60.5 | 67.5 |
| 70 | T | 76.5 | 60.5 | 68.5 | 60.5 | 75.5 | 67.5 | 72.5 | 60.5 |
| 71 | C | 72.5 | 60.5 | 59.5 | 53.5 | 60.5 | 57.5 | 56.5 | 50.5 |
| 72 | T | 72.5 | 68.5 | 59.5 | 63.5 | 87.5 | 67.5 | 78.5 | 68.5 |
| 73 | C | 68.5 | 60.5 | 64.5 | 62.5 | 90.5 | 65.5 | 66.5 | 67.5 |
| 74 | T | 91.5 | 70.5 | 76.5 | 73.5 | 80.5 | 70.5 | 83.5 | 65.5 |
| 75 | C | 66.5 | 63.5 | 65.5 | 54.5 | 67.5 | 57.5 | 64.5 | 60.5 |
| 76 | T | 63.5 | 58.5 | 60.5 | 67.5 | 68.5 | 66.5 | 61.5 | 56.5 |
| 77 | C | 77.5 | 66.5 | 65.5 | 60.5 | 72.5 | 64.5 | 53.5 | 69.5 |
| 78 | T | 74.5 | 66.5 | 63.5 | 66.5 | 74.5 | 64.5 | 69.5 | 60.5 |
| 79 | C | 70.5 | 62.5 | 59.5 | 67.5 | 73.5 | 62.5 | 58.5 | 55.5 |
| 80 | T | 74.5 | 65.5 | 67.5 | 64.5 | 89.5 | 65.5 | 60.5 | 69.5 |
| 81 | C | 76.5 | 63.5 | 66.5 | 52.5 | 66.5 | 61.5 | 53.5 | 60.5 |
| 82 | T | 77.5 | 68.5 | 83.5 | 63.5 | 111.5 | 73.5 | 86.5 | 66.5 |
| 83 | C | 93.5 | 68.5 | 58.5 | 60.5 | 99.5 | 75.5 | 71.5 | 65.5 |
| 84 | T | 85.5 | 68.5 | 58.5 | 45.5 | 99.5 | 63.5 | 84.5 | 67.5 |
| 85 | C | 77.5 | 63.5 | 65.5 | 56.5 | 82.5 | 64.5 | 74.5 | 68.5 |
| 86 | T | 82.5 | 74.5 | 72.5 | 61.5 | 76.5 | 72.5 | 72.5 | 62.5 |
| 87 | C | 79.5 | 61.5 | 56.5 | 60.5 | 71.5 | 65.5 | 69.5 | 63.5 |
| 88 | T | 61.5 | 60.5 | 62.5 | 54.5 | 73.5 | 59.5 | 66.5 | 61.5 |
| 89 | C | 68.5 | 61.5 | 57.5 | 53.5 | 76.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 |
| 90 | T | 79.5 | 75.5 | 67.5 | 51.5 | 85.5 | 73.5 | 69.5 | 64.5 |
| 91 | C | 62.5 | 68.5 | 53.5 | 55.5 | 80.5 | 68.5 | 66.5 | 56.5 |
| 92 | T | 77.5 | 73.5 | 60.5 | 55.5 | 76.5 | 75.5 | 65.5 | 59.5 |
| 93 | C | 69.5 | 69.5 | 59.5 | 53.5 | 65.5 | 59.5 | 59.5 | 51.5 |
| 94 | T | 71.5 | 60.5 | 66.5 | 53.5 | 73.5 | 65.5 | 64.5 | 57.5 |
| 95 | C | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 47.5 | 65.5 | 65.5 | 62.5 | 55.5 |
| 96 | T | 76.5 | 66.5 | 65.5 | 43.5 | 80.5 | 64.5 | 71.5 | 54.5 |

| No. | ELEM. | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | |
|-----|-------|--|-------|--------------|--------------|---|-------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 97 | C | 69.5 | 59.5 | 53.5 | 49.5 | 72.5 | 63.5 | 61.5 | 55.5 |
| 98 | T | 65.5 | 66.5 | 72.5 | 36.5 | 95.5 | 68.5 | 72.5 | 62.5 |
| 99 | C | 70.5 | 61.5 | 63.5 | 61.5 | 102.5 | 73.5 | 70.5 | 56.5 |
| 100 | T | 89.5 | 75.5 | 78.5 | 76.5 | 76.5 | 67.5 | 69.5 | 61.5 |
| 101 | C | 61.5 | 55.5 | 55.5 | 52.5 | 56.5 | 55.5 | 54.5 | 58.5 |
| 102 | T | 67.5 | 58.5 | 59.5 | 49.5 | 58.5 | 59.5 | 60.5 | 52.5 |
| 103 | C | 54.5 | 54.5 | 54.5 | 47.5 | 55.5 | 57.5 | 60.5 | 48.5 |

3.3. VELOCIDADES DE DISEÑO

3.3.1. Velocidades Específicas en Curvas Horizontales (VCH). Se identificaron las velocidades específicas para cada una de las curvas según procedimiento contemplado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de 2008 del INVIAS, el cual anota que:

“Una vez asignada la Velocidad Específica (VCH) a cada curva horizontal y con el Radio de curvatura elegido (RC), que se supone es el que permite ajustar de la mejor manera la trayectoria de la curva a la topografía del terreno, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su Radio (RC) permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la Velocidad Específica (VCH)”³¹.

Cuadro 16. Radios (Rc) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para $e_{máx} = 8\%$

| e (%) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 |

³¹ Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS. 2008.

| e (%) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 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 | 306 | 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 del INVIAS, 2008.

Se identificaron las velocidades específicas para las curvas con sus radios y peraltes. Se ingresó a la tabla con el valor del peralte y en la fila se buscó el rango entre el cual se encuentra el radio de la curva, se observaron las velocidades correspondientes a estos radios y se encontró la velocidad específica correspondiente a la curva mediante interpolación.

Se desarrolla a continuación el procedimiento aplicado para el cálculo de velocidad específica para la primera curva del tramo en estudio la cual se identificó como elemento No.1:

Radio (R_c) : 96,472m

Con ayuda del nivel y la mira topográfica, se realizaron lecturas al extremo interno y externo de la calzada, para identificar la diferencia de nivel. Posteriormente con cinta métrica se midió el ancho de la calzada en el centro de la curva, y el peralte se calculó realizando la diferencia de nivel entre los extremos de la calzada y se dividió dicho valor por el ancho de la calzada.

El mismo procedimiento se utilizó en la asignación de velocidades para las demás entretangencias.

3.3.3. Velocidades Específicas en Curvas Horizontales con Peraltes Mayores al 8% (VCH). Para carreteras Primarias y Secundarias el INVIAS como peralte máximo estipula una magnitud equivalente al ocho por ciento (8%), pero al tratarse de una vía que ya se encuentra construida, se encontraron peraltes mayores a 8%, tal es el caso de las curvas identificadas como elementos No. 93 y 101, con peraltes de 8,8% y 9,2% respectivamente. Para esto casos la velocidad específica de dichas curvas se concibió como la mayor posible con peralte máximo de 8% según la tabla anterior.

De acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente para la identificación de la velocidad específica de cada elemento, se obtiene el siguiente cuadro resumen que recopila toda la información de las variables para el cálculo de la velocidad específica de cada elemento geométrico.

Cuadro 17. Velocidades Específicas en Elementos Geométricos

| No. ELEM. | ELEM | PERALTE (%) | VELOCIDAD ESPECIFICA (KPH) | No. ELEM. | ELEM | PERALTE (%) | VELOCIDAD ESPECIFICA (KPH) |
|-----------|------|-------------|----------------------------|-----------|------|-------------|----------------------------|
| 1 | C | 7.2 | 46.06 | 52 | T | | 65.26 |
| 2 | T | | 49.20 | 53 | C | 8 | 65.26 |
| 3 | C | 7.4 | 49.20 | 54 | T | | 65.26 |
| 4 | T | | 65.82 | 55 | C | 7.4 | 49.23 |
| 5 | C | 6.8 | 65.82 | 56 | T | | 49.23 |
| 6 | T | | 65.82 | 57 | C | 7 | 47.74 |
| 7 | C | 7.2 | 58.49 | 58 | T | | 49.79 |
| 8 | T | | 58.49 | 59 | C | 7.6 | 49.79 |
| 9 | C | 7 | 42.10 | 60 | T | | 49.79 |
| 10 | T | | 42.10 | 61 | C | 7.8 | 49.43 |
| 11 | C | 5.8 | 41.70 | 62 | T | | 49.43 |
| 12 | T | | 52.46 | 63 | C | 8 | 46.15 |
| 13 | C | 5.4 | 52.46 | 64 | T | | 55.37 |
| 14 | T | | 52.46 | 65 | C | 7.8 | 55.37 |
| 15 | C | 7.2 | 50.63 | 66 | T | | 55.37 |
| 16 | T | | 50.63 | 67 | C | 7.6 | 49.24 |
| 17 | C | 7.8 | 43.14 | 68 | T | | 58.70 |
| 18 | T | | 65.23 | 69 | C | 7.5 | 58.70 |
| 19 | C | 7.8 | 65.23 | 70 | T | | 58.70 |
| 20 | T | | 65.23 | 71 | C | 7.8 | 46.92 |
| 21 | C | 7.6 | 56.12 | 72 | T | | 50.82 |
| 22 | T | | 56.12 | 73 | C | 5.8 | 50.82 |
| 23 | C | 6.4 | 47.33 | 74 | T | | 50.82 |
| 24 | T | | 55.68 | 75 | C | 7.6 | 46.10 |
| 25 | C | 7.8 | 55.68 | 76 | T | | 54.68 |
| 26 | T | | 55.68 | 77 | C | 7 | 54.68 |
| 27 | C | 3.8 | 54.94 | 78 | T | | 57.48 |
| 28 | T | | 54.94 | 79 | C | 7.6 | 57.48 |

| No. ELEM. | ELEM | PERALTE (%) | VELOCIDAD ESPECIFICA (KPH) | No. ELEM. | ELEM | PERALTE (%) | VELOCIDAD ESPECIFICA (KPH) |
|-----------|------|-------------|----------------------------|-----------|------|-------------|----------------------------|
| 29 | C | 4.8 | 45.55 | 80 | T | | 57.48 |
| 30 | T | | 50.96 | 81 | C | 6.8 | 56.03 |
| 31 | C | 1.5 | 50.96 | 82 | T | | 67.70 |
| 32 A | T | | 50.96 | 83 | C | 1.5 | 67.70 |
| 32 B | T | | 50.96 | 84 | T | | 67.70 |
| 33 | C | 7.6 | 43.54 | 85 | C | 6 | 64.17 |
| 34 | T | | 46.06 | 86 | T | | 64.17 |
| 35 | C | 6.8 | 46.06 | 87 | C | 7.2 | 43.59 |
| 36 | T | | 55.51 | 88 | T | | 57.35 |
| 37 | C | 7.4 | 55.51 | 89 | C | 6.6 | 57.35 |
| 38 | T | | 58.33 | 90 | T | | 57.35 |
| 39 | C | 6.8 | 58.33 | 91 | C | 6.4 | 53.67 |
| 40 | T | | 58.60 | 92 | T | | 53.67 |
| 41 | C | 7 | 58.60 | 93 | C | 8.8 | 51.71 |
| 42 | T | | 59.67 | 94 | T | | 56.50 |
| 43 | C | 7.2 | 59.67 | 95 | C | 8 | 56.50 |
| 44 | T | | 59.67 | 96 | T | | 56.50 |
| 45 | C | 6.8 | 47.33 | 97 | C | 7.8 | 52.97 |
| 46 | T | | 59.73 | 98 | T | | 65.30 |
| 47 | C | 7.8 | 59.73 | 99 | C | 4.4 | 65.30 |
| 48 | T | | 59.73 | 100 | T | | 65.30 |
| 49 | C | 7.6 | 58.17 | 101 | C | 9.2 | 46.44 |
| 50 | T | | 60.92 | 102 | T | | 48.98 |
| 51 | C | 7.8 | 60.92 | 103 | C | 8 | 48.98 |

3.4. EVALUACIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL TRAMO VIAL MEDIANTE ANÁLISIS DE VELOCIDAD

Para este caso mediante la revisión bibliográfica se encuentra que Lamm et al (2007), estableció dos criterios para determinar la consistencia del diseño geométrico de carreteras, en función de la velocidad de operación, siendo el criterio II el más ampliamente utilizado³². Estos criterios son los siguientes:

- Criterio I : Comparación entre la velocidad de diseño y la de operación.
- Criterio II : Comparación entre velocidades de operación entre elementos consecutivos del trazado.

Los anteriores criterios se definen mediante la siguiente tabla experimental, planteada por el Autor mencionado.

³² La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial – Cuaderno Tecnológico de la PTC, - Universidad Politécnica de Valencia – 2011.

Cuadro 18. Criterios para Evaluar el Nivel de Consistencia

| NIVEL DE CONSISTENCIA | CRITERIO I (KPH) | CRITERIO II (KPH) |
|-----------------------|-------------------------------|--|
| BUENO | $ V_{85} - V_d \leq 10$ | $ V_{85_i} - V_{85_{i+1}} \leq 10$ |
| ACEPTABLE | $10 < V_{85} - V_d \leq 20$ | $10 < V_{85_i} - V_{85_{i+1}} \leq 20$ |
| POBRE | $ V_{85} - V_d > 20$ | $ V_{85_i} - V_{85_{i+1}} > 20$ |

Fuente: La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial – Cuaderno Tecnológico de la PTC, - Universidad Politécnica de Valencia – 2011.

Para aplicar el Criterio I, se compara la velocidad de diseño con las velocidades de operación obtenidas para cada tipo de vehículo y sentido de flujo.

Establecido este planteamiento se procesa la información detallada con anterioridad bajo las condiciones de evaluación del Criterio I y se obtuvo la siguiente información.

Cuadro 19. Evaluación de consistencia mediante la comparación de Velocidad de Diseño y Velocidad de Operación (Criterio I) – Sentido Ascenso

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|---------------------------|---|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 1 | C | 71.5 | 62.5 | 58.5 | 62.5 | 46.06 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 2 | T | 77.5 | 53.5 | 64.5 | 71.5 | 49.198 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | POBRE |
| 3 | C | 71.5 | 66.5 | 61.5 | 46.5 | 49.198 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 4 | T | 78.5 | 69.5 | 70.5 | 67.5 | 65.82 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 5 | C | 75.5 | 60.5 | 67.5 | 65.5 | 65.82 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 6 | T | 80.5 | 64.5 | 69.5 | 54.5 | 65.82 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 7 | C | 77.5 | 61.5 | 68.5 | 55.5 | 58.49 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 8 | T | 82.5 | 63.5 | 58.5 | 57.5 | 58.49 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 9 | C | 68.5 | 63.5 | 59.5 | 59.5 | 42.101 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 10 | T | 80.5 | 60.5 | 62.5 | 57.5 | 42.101 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 11 | C | 73.5 | 61.5 | 60.5 | 56.5 | 41.7 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 12 | T | 71.5 | 66.5 | 63.5 | 60.5 | 52.46 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 13 | C | 73.5 | 61.5 | 58.5 | 54.5 | 52.46 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 14 | T | 75.5 | 62.5 | 60.5 | 56.5 | 52.46 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 15 | C | 72.5 | 64.5 | 48.5 | 61.5 | 50.63 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 16 | T | 74.5 | 52.5 | 62.5 | 54.5 | 50.63 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 17 | C | 69.5 | 56.5 | 61.5 | 51.5 | 43.14 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|---------------------------|---|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 18 | T | 68.5 | 59.5 | 60.5 | 51.5 | 65.23 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 19 | C | 68.5 | 65.5 | 59.5 | 46.5 | 65.23 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 20 | T | 67.5 | 65.5 | 59.5 | 47.5 | 65.23 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 21 | C | 73.5 | 65.5 | 51.5 | 59.5 | 56.12 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 22 | T | 71.5 | 70.5 | 56.5 | 61.5 | 56.12 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 23 | C | 76.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 | 47.33 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 24 | T | 72.5 | 67.5 | 70.5 | 58.5 | 55.68 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 25 | C | 71.5 | 64.5 | 65.5 | 56.5 | 55.68 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 26 | T | 63.5 | 67.5 | 61.5 | 59.5 | 55.68 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 27 | C | 64.5 | 60.5 | 63.5 | 40.5 | 54.94 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 28 | T | 75.5 | 57.5 | 63.5 | 47.5 | 54.94 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 29 | C | 75.5 | 65.5 | 70.5 | 48.5 | 45.55 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 30 | T | 76.5 | 71.5 | 63.5 | 65.5 | 50.96 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 31 | C | 64.5 | 61.5 | 61.5 | 50.5 | 50.96 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 32 A | T | 60.5 | 55.5 | 54.5 | 52.5 | 50.96 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 32 B | T | 40.5 | 30.5 | 38.5 | 42.5 | 50.96 | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 33 | C | 70.5 | 62.5 | 66.5 | 50.5 | 43.54 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 34 | T | 66.5 | 61.5 | 63.5 | 56.5 | 46.06 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 35 | C | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 50.5 | 46.06 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 36 | T | 67.5 | 66.5 | 67.5 | 56.5 | 55.51 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 37 | C | 70.5 | 56.5 | 67.5 | 47.5 | 55.51 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 38 | T | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 56.5 | 58.33 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 39 | C | 70.5 | 62.5 | 63.5 | 55.5 | 58.33 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 40 | T | 83.5 | 73.5 | 73.5 | 60.5 | 58.6 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 41 | C | 75.5 | 65.5 | 55.5 | 59.5 | 58.6 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 42 | T | 78.5 | 64.5 | 65.5 | 57.5 | 59.67 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 43 | C | 73.5 | 63.5 | 70.5 | 62.5 | 59.67 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 44 | T | 79.5 | 60.5 | 66.5 | 82.5 | 59.67 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | POBRE |
| 45 | C | 70.5 | 68.5 | 63.5 | 54.5 | 47.33 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 46 | T | 77.5 | 64.5 | 78.5 | 77.5 | 59.73 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 47 | C | 75.5 | 68.5 | 74.5 | 67.5 | 59.73 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 48 | T | 73.5 | 68.5 | 75.5 | 54.5 | 59.73 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 49 | C | 72.5 | 62.5 | 66.5 | 49.5 | 58.17 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 50 | T | 76.5 | 71.5 | 65.5 | 75.5 | 60.92 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|---------------------------|---|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 51 | C | 75.5 | 81.5 | 76.5 | 53.5 | 60.92 | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 52 | T | 68.5 | 58.5 | 59.5 | 52.5 | 65.26 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 53 | C | 74.5 | 62.5 | 71.5 | 51.5 | 65.26 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 54 | T | 68.5 | 53.5 | 61.5 | 50.5 | 65.26 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 55 | C | 66.5 | 71.5 | 68.5 | 58.5 | 49.23 | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 56 | T | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 58.5 | 49.23 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 57 | C | 66.5 | 65.5 | 68.5 | 57.5 | 47.74 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 58 | T | 73.5 | 60.5 | 72.5 | 60.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 59 | C | 73.5 | 63.5 | 66.5 | 56.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 60 | T | 77.5 | 66.5 | 59.5 | 57.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 61 | C | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 63.5 | 49.43 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 62 | T | 73.5 | 72.5 | 64.5 | 61.5 | 49.43 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 63 | C | 64.5 | 57.5 | 57.5 | 53.5 | 46.15 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 64 | T | 76.5 | 63.5 | 57.5 | 56.5 | 55.37 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 65 | C | 61.5 | 53.5 | 48.5 | 58.5 | 55.37 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 66 | T | 75.5 | 59.5 | 57.5 | 64.5 | 55.37 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 67 | C | 72.5 | 54.5 | 52.5 | 48.5 | 49.24 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 68 | T | 75.5 | 66.5 | 58.5 | 55.5 | 58.7 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 69 | C | 69.5 | 62.5 | 57.5 | 59.5 | 58.7 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 70 | T | 76.5 | 60.5 | 68.5 | 60.5 | 58.7 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 71 | C | 72.5 | 60.5 | 59.5 | 53.5 | 46.92 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 72 | T | 72.5 | 68.5 | 59.5 | 63.5 | 50.82 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 73 | C | 68.5 | 60.5 | 64.5 | 62.5 | 50.82 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 74 | T | 91.5 | 70.5 | 76.5 | 73.5 | 50.82 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | POBRE |
| 75 | C | 66.5 | 63.5 | 65.5 | 54.5 | 46.1 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 76 | T | 63.5 | 58.5 | 60.5 | 67.5 | 54.68 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 77 | C | 77.5 | 66.5 | 65.5 | 60.5 | 54.68 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 78 | T | 74.5 | 66.5 | 63.5 | 66.5 | 57.48 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 79 | C | 70.5 | 62.5 | 59.5 | 67.5 | 57.48 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 80 | T | 74.5 | 65.5 | 67.5 | 64.5 | 57.48 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 81 | C | 76.5 | 63.5 | 66.5 | 52.5 | 56.03 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 82 | T | 77.5 | 68.5 | 83.5 | 63.5 | 67.7 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 83 | C | 93.5 | 68.5 | 58.5 | 60.5 | 67.7 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 84 | T | 85.5 | 68.5 | 58.5 | 45.5 | 67.7 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | POBRE |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|---------------------------|---|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 85 | C | 77.5 | 63.5 | 65.5 | 56.5 | 64.17 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 86 | T | 82.5 | 74.5 | 72.5 | 61.5 | 64.17 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 87 | C | 79.5 | 61.5 | 56.5 | 60.5 | 43.59 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 88 | T | 61.5 | 60.5 | 62.5 | 54.5 | 57.35 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 89 | C | 68.5 | 61.5 | 57.5 | 53.5 | 57.35 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 90 | T | 79.5 | 75.5 | 67.5 | 51.5 | 57.35 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 91 | C | 62.5 | 68.5 | 53.5 | 55.5 | 53.67 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 92 | T | 77.5 | 73.5 | 60.5 | 55.5 | 53.67 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 93 | C | 69.5 | 69.5 | 59.5 | 53.5 | 51.71 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 94 | T | 71.5 | 60.5 | 66.5 | 53.5 | 56.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 95 | C | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 47.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 96 | T | 76.5 | 66.5 | 65.5 | 43.5 | 56.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 97 | C | 69.5 | 59.5 | 53.5 | 49.5 | 52.97 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 98 | T | 65.5 | 66.5 | 72.5 | 36.5 | 65.3 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 99 | C | 70.5 | 61.5 | 63.5 | 61.5 | 65.3 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 100 | T | 89.5 | 75.5 | 78.5 | 76.5 | 65.3 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 101 | C | 61.5 | 55.5 | 55.5 | 52.5 | 46.44 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 102 | T | 67.5 | 58.5 | 59.5 | 49.5 | 48.98 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 103 | C | 54.5 | 54.5 | 54.5 | 47.5 | 48.98 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

Cuadro 20. Evaluación de consistencia mediante la comparación de Velocidad de Diseño y Velocidad de Operación (Criterio I) – Sentido Descenso

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | |
|----------|------|---|-------|--------------|--------------|---------------------------|---|-----------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 1 | C | 67.5 | 61.5 | 69.5 | 49.5 | 46.06 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 2 | T | 80.5 | 63.5 | 75.5 | 54.5 | 49.198 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 3 | C | 76.5 | 65.5 | 69.5 | 61.5 | 49.198 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 4 | T | 77.5 | 63.5 | 70.5 | 61.5 | 65.82 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 5 | C | 77.5 | 69.5 | 80.5 | 66.5 | 65.82 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 6 | T | 77.5 | 58.5 | 71.5 | 70.5 | 65.82 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 7 | C | 70.5 | 63.5 | 61.5 | 52.5 | 58.49 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 8 | T | 71.5 | 60.5 | 69.5 | 68.5 | 58.49 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN)) | | | |
|----------|------|---|-------|--------------|--------------|---------------------------|--|-----------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 9 | C | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 53.5 | 42.101 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 10 | T | 79.5 | 62.5 | 67.5 | 71.5 | 42.101 | POBRE | POBRE | POBRE | POBRE |
| 11 | C | 80.5 | 64.5 | 65.5 | 61.5 | 41.7 | POBRE | POBRE | POBRE | ACEPTABLE |
| 12 | T | 78.5 | 71.5 | 67.5 | 61.5 | 52.46 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 13 | C | 86.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 | 52.46 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 14 | T | 83.5 | 70.5 | 59.5 | 63.5 | 52.46 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 15 | C | 75.5 | 65.5 | 64.5 | 61.5 | 50.63 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 16 | T | 70.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 | 50.63 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 17 | C | 55.5 | 48.5 | 56.5 | 44.5 | 43.14 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 18 | T | 74.5 | 60.5 | 56.5 | 48.5 | 65.23 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 19 | C | 68.5 | 67.5 | 65.5 | 57.5 | 65.23 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 20 | T | 75.5 | 64.5 | 63.5 | 59.5 | 65.23 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 21 | C | 80.5 | 62.5 | 68.5 | 49.5 | 56.12 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 22 | T | 82.5 | 75.5 | 65.5 | 62.5 | 56.12 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 23 | C | 72.5 | 62.5 | 71.5 | 66.5 | 47.33 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 24 | T | 73.5 | 60.5 | 67.5 | 64.5 | 55.68 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 25 | C | 69.5 | 58.5 | 65.5 | 57.5 | 55.68 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 26 | T | 82.5 | 72.5 | 79.5 | 62.5 | 55.68 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 27 | C | 78.5 | 59.5 | 70.5 | 57.5 | 54.94 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 28 | T | 78.5 | 65.5 | 79.5 | 53.5 | 54.94 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 29 | C | 85.5 | 66.5 | 69.5 | 45.5 | 45.55 | POBRE | POBRE | POBRE | BUENO |
| 30 | T | 83.5 | 65.5 | 79.5 | 68.5 | 50.96 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 31 | C | 79.5 | 57.5 | 71.5 | 70.5 | 50.96 | POBRE | BUENO | POBRE | ACEPTABLE |
| 32 A | T | 51.5 | 45.5 | 47.5 | 39.5 | 50.96 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 32 B | T | 59.5 | 55.5 | 58.5 | 53.5 | 50.96 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 33 | C | 64.5 | 58.5 | 62.5 | 58.5 | 43.54 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 34 | T | 69.5 | 64.5 | 62.5 | 50.5 | 46.06 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 35 | C | 61.5 | 60.5 | 66.5 | 61.5 | 46.06 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 36 | T | 74.5 | 68.5 | 73.5 | 62.5 | 55.51 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 37 | C | 79.5 | 58.5 | 61.5 | 59.5 | 55.51 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 38 | T | 96.5 | 69.5 | 67.5 | 68.5 | 58.33 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 39 | C | 79.5 | 69.5 | 58.5 | 68.5 | 58.33 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 40 | T | 84.5 | 73.5 | 72.5 | 68.5 | 58.6 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 41 | C | 79.5 | 62.5 | 77.5 | 63.5 | 58.6 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN)) | | | |
|----------|------|---|-------|--------------|--------------|---------------------------|--|-----------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 42 | T | 79.5 | 63.5 | 75.5 | 65.5 | 59.67 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 43 | C | 86.5 | 68.5 | 62.5 | 70.5 | 59.67 | POBRE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 44 | T | 78.5 | 74.5 | 69.5 | 83.5 | 59.67 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | POBRE |
| 45 | C | 81.5 | 78.5 | 77.5 | 63.5 | 47.33 | POBRE | POBRE | POBRE | ACEPTABLE |
| 46 | T | 82.5 | 74.5 | 58.5 | 59.5 | 59.73 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 47 | C | 73.5 | 69.5 | 73.5 | 62.5 | 59.73 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 48 | T | 83.5 | 68.5 | 74.5 | 59.5 | 59.73 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 49 | C | 77.5 | 65.5 | 60.5 | 94.5 | 58.17 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | POBRE |
| 50 | T | 84.5 | 66.5 | 70.5 | 59.5 | 60.92 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 51 | C | 81.5 | 68.5 | 64.5 | 69.5 | 60.92 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 52 | T | 82.5 | 58.5 | 65.5 | 58.5 | 65.26 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 53 | C | 74.5 | 63.5 | 67.5 | 60.5 | 65.26 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 54 | T | 78.5 | 59.5 | 65.5 | 56.5 | 65.26 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 55 | C | 74.5 | 73.5 | 70.5 | 58.5 | 49.23 | POBRE | POBRE | POBRE | BUENO |
| 56 | T | 67.5 | 57.5 | 62.5 | 57.5 | 49.23 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 57 | C | 73.5 | 58.5 | 66.5 | 59.5 | 47.74 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 58 | T | 75.5 | 65.5 | 67.5 | 58.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 59 | C | 72.5 | 61.5 | 73.5 | 57.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |
| 60 | T | 77.5 | 61.5 | 64.5 | 60.5 | 49.79 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 61 | C | 71.5 | 62.5 | 65.5 | 57.5 | 49.43 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 62 | T | 78.5 | 62.5 | 67.5 | 60.5 | 49.43 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 63 | C | 64.5 | 56.5 | 55.5 | 55.5 | 46.15 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 64 | T | 78.5 | 65.5 | 56.5 | 64.5 | 55.37 | POBRE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 65 | C | 68.5 | 69.5 | 63.5 | 65.5 | 55.37 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 66 | T | 82.5 | 61.5 | 67.5 | 58.5 | 55.37 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 67 | C | 70.5 | 56.5 | 48.5 | 52.5 | 49.24 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 68 | T | 82.5 | 68.5 | 63.5 | 45.5 | 58.7 | POBRE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 69 | C | 79.5 | 60.5 | 60.5 | 67.5 | 58.7 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 70 | T | 75.5 | 67.5 | 72.5 | 60.5 | 58.7 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 71 | C | 60.5 | 57.5 | 56.5 | 50.5 | 46.92 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 72 | T | 87.5 | 67.5 | 78.5 | 68.5 | 50.82 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 73 | C | 90.5 | 65.5 | 66.5 | 67.5 | 50.82 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 74 | T | 80.5 | 70.5 | 83.5 | 65.5 | 50.82 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE |
| 75 | C | 67.5 | 57.5 | 64.5 | 60.5 | 46.1 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 76 | T | 68.5 | 66.5 | 61.5 | 56.5 | 54.68 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |

| No. ELM. | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN)) | | | |
|----------|------|---|-------|--------------|--------------|---------------------------|--|-----------|--------------|--------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G | | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIONES C2P | CAMIONES C2G |
| 77 | C | 72.5 | 64.5 | 53.5 | 69.5 | 54.68 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 78 | T | 74.5 | 64.5 | 69.5 | 60.5 | 57.48 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 79 | C | 73.5 | 62.5 | 58.5 | 55.5 | 57.48 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 80 | T | 89.5 | 65.5 | 60.5 | 69.5 | 57.48 | POBRE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 81 | C | 66.5 | 61.5 | 53.5 | 60.5 | 56.03 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 82 | T | 111.5 | 73.5 | 86.5 | 66.5 | 67.7 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 83 | C | 99.5 | 75.5 | 71.5 | 65.5 | 67.7 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 84 | T | 99.5 | 63.5 | 84.5 | 67.5 | 67.7 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 85 | C | 82.5 | 64.5 | 74.5 | 68.5 | 64.17 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 86 | T | 76.5 | 72.5 | 72.5 | 62.5 | 64.17 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 87 | C | 71.5 | 65.5 | 69.5 | 63.5 | 43.59 | POBRE | POBRE | POBRE | ACEPTABLE |
| 88 | T | 73.5 | 59.5 | 66.5 | 61.5 | 57.35 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 89 | C | 76.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 | 57.35 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 90 | T | 85.5 | 73.5 | 69.5 | 64.5 | 57.35 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 91 | C | 80.5 | 68.5 | 66.5 | 56.5 | 53.67 | POBRE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 92 | T | 76.5 | 75.5 | 65.5 | 59.5 | 53.67 | POBRE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 93 | C | 65.5 | 59.5 | 59.5 | 51.5 | 51.71 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 94 | T | 73.5 | 65.5 | 64.5 | 57.5 | 56.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 95 | C | 65.5 | 65.5 | 62.5 | 55.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 96 | T | 80.5 | 64.5 | 71.5 | 54.5 | 56.5 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 97 | C | 72.5 | 63.5 | 61.5 | 55.5 | 52.97 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 98 | T | 95.5 | 68.5 | 72.5 | 62.5 | 65.3 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 99 | C | 102.5 | 73.5 | 70.5 | 56.5 | 65.3 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 100 | T | 76.5 | 67.5 | 69.5 | 61.5 | 65.3 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 101 | C | 56.5 | 55.5 | 54.5 | 58.5 | 46.44 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 102 | T | 58.5 | 59.5 | 60.5 | 52.5 | 48.98 | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 103 | C | 55.5 | 57.5 | 60.5 | 48.5 | 48.98 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |

Este análisis permitió identificar puntos donde la consistencia es pobre, estos son críticos e identifican un sentido de flujo, una categoría vehicular dentro de un elemento geométrico del tramo.

De igual modo se evaluó la velocidad de operación de diseño de cada elemento comparándola con la resultante del elemento inmediatamente siguiente para

establecer con mayor claridad la comodidad de flujo del conductor según el tipo de vehículo que use en el recorrido.

Este criterio de evaluación (Criterio II de Lamm – Comparación de Velocidad de Operación entre elementos geométricos consecutivos), el resultado de la evaluación se realizó en función del sentido de flujo y categoría vehicular.

Cuadro 21. Evaluación de consistencia mediante la comparación de Velocidades de Operación de elementos geométricos consecutivos (Criterio II) – Sentido Ascenso

| No. ELEM | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 1 | C | 71.5 | 62.5 | 58.5 | 62.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 2 | T | 77.5 | 53.5 | 64.5 | 71.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | POBRE |
| 3 | C | 71.5 | 66.5 | 61.5 | 46.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 4 | T | 78.5 | 69.5 | 70.5 | 67.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 5 | C | 75.5 | 60.5 | 67.5 | 65.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 6 | T | 80.5 | 64.5 | 69.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 7 | C | 77.5 | 61.5 | 68.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 8 | T | 82.5 | 63.5 | 58.5 | 57.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 9 | C | 68.5 | 63.5 | 59.5 | 59.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 10 | T | 80.5 | 60.5 | 62.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 11 | C | 73.5 | 61.5 | 60.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 12 | T | 71.5 | 66.5 | 63.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 13 | C | 73.5 | 61.5 | 58.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 14 | T | 75.5 | 62.5 | 60.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 15 | C | 72.5 | 64.5 | 48.5 | 61.5 | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 16 | T | 74.5 | 52.5 | 62.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 17 | C | 69.5 | 56.5 | 61.5 | 51.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 18 | T | 68.5 | 59.5 | 60.5 | 51.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 19 | C | 68.5 | 65.5 | 59.5 | 46.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 20 | T | 67.5 | 65.5 | 59.5 | 47.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 21 | C | 73.5 | 65.5 | 51.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 22 | T | 71.5 | 70.5 | 56.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 23 | C | 76.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 24 | T | 72.5 | 67.5 | 70.5 | 58.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 25 | C | 71.5 | 64.5 | 65.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

| | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| No. ELEM | ELEM | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 26 | T | 63.5 | 67.5 | 61.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 27 | C | 64.5 | 60.5 | 63.5 | 40.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 28 | T | 75.5 | 57.5 | 63.5 | 47.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 29 | C | 75.5 | 65.5 | 70.5 | 48.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 30 | T | 76.5 | 71.5 | 63.5 | 65.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 31 | C | 64.5 | 61.5 | 61.5 | 50.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 32 A | T | 60.5 | 55.5 | 54.5 | 52.5 | ACEPTABLE | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 32 B | T | 40.5 | 30.5 | 38.5 | 42.5 | POBRE | POBRE | POBRE | BUENO |
| 33 | C | 70.5 | 62.5 | 66.5 | 50.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 34 | T | 66.5 | 61.5 | 63.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 35 | C | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 50.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 36 | T | 67.5 | 66.5 | 67.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 37 | C | 70.5 | 56.5 | 67.5 | 47.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 38 | T | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 39 | C | 70.5 | 62.5 | 63.5 | 55.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 40 | T | 83.5 | 73.5 | 73.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 41 | C | 75.5 | 65.5 | 55.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 42 | T | 78.5 | 64.5 | 65.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 43 | C | 73.5 | 63.5 | 70.5 | 62.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 44 | T | 79.5 | 60.5 | 66.5 | 82.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 45 | C | 70.5 | 68.5 | 63.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | POBRE |
| 46 | T | 77.5 | 64.5 | 78.5 | 77.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 47 | C | 75.5 | 68.5 | 74.5 | 67.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 48 | T | 73.5 | 68.5 | 75.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 49 | C | 72.5 | 62.5 | 66.5 | 49.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 50 | T | 76.5 | 71.5 | 65.5 | 75.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | POBRE |
| 51 | C | 75.5 | 81.5 | 76.5 | 53.5 | BUENO | POBRE | ACEPTABLE | BUENO |
| 52 | T | 68.5 | 58.5 | 59.5 | 52.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 53 | C | 74.5 | 62.5 | 71.5 | 51.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 54 | T | 68.5 | 53.5 | 61.5 | 50.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 55 | C | 66.5 | 71.5 | 68.5 | 58.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 56 | T | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 58.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 57 | C | 66.5 | 65.5 | 68.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 58 | T | 73.5 | 60.5 | 72.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

| | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| No. ELEM | ELEM | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 59 | C | 73.5 | 63.5 | 66.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 60 | T | 77.5 | 66.5 | 59.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 61 | C | 71.5 | 69.5 | 67.5 | 63.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 62 | T | 73.5 | 72.5 | 64.5 | 61.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 63 | C | 64.5 | 57.5 | 57.5 | 53.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 64 | T | 76.5 | 63.5 | 57.5 | 56.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 65 | C | 61.5 | 53.5 | 48.5 | 58.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 66 | T | 75.5 | 59.5 | 57.5 | 64.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 67 | C | 72.5 | 54.5 | 52.5 | 48.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 68 | T | 75.5 | 66.5 | 58.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 69 | C | 69.5 | 62.5 | 57.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 70 | T | 76.5 | 60.5 | 68.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 71 | C | 72.5 | 60.5 | 59.5 | 53.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 72 | T | 72.5 | 68.5 | 59.5 | 63.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 73 | C | 68.5 | 60.5 | 64.5 | 62.5 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 74 | T | 91.5 | 70.5 | 76.5 | 73.5 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 75 | C | 66.5 | 63.5 | 65.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 76 | T | 63.5 | 58.5 | 60.5 | 67.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 77 | C | 77.5 | 66.5 | 65.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 78 | T | 74.5 | 66.5 | 63.5 | 66.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 79 | C | 70.5 | 62.5 | 59.5 | 67.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 80 | T | 74.5 | 65.5 | 67.5 | 64.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 81 | C | 76.5 | 63.5 | 66.5 | 52.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 82 | T | 77.5 | 68.5 | 83.5 | 63.5 | ACEPTABLE | BUENO | POBRE | BUENO |
| 83 | C | 93.5 | 68.5 | 58.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 84 | T | 85.5 | 68.5 | 58.5 | 45.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 85 | C | 77.5 | 63.5 | 65.5 | 56.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 86 | T | 82.5 | 74.5 | 72.5 | 61.5 | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 87 | C | 79.5 | 61.5 | 56.5 | 60.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 88 | T | 61.5 | 60.5 | 62.5 | 54.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 89 | C | 68.5 | 61.5 | 57.5 | 53.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 90 | T | 79.5 | 75.5 | 67.5 | 51.5 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 91 | C | 62.5 | 68.5 | 53.5 | 55.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 92 | T | 77.5 | 73.5 | 60.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

| | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO ASCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|--|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| No. ELEM | ELEM | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO ASCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 93 | C | 69.5 | 69.5 | 59.5 | 53.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 94 | T | 71.5 | 60.5 | 66.5 | 53.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 95 | C | 60.5 | 60.5 | 58.5 | 47.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 96 | T | 76.5 | 66.5 | 65.5 | 43.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 97 | C | 69.5 | 59.5 | 53.5 | 49.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 98 | T | 65.5 | 66.5 | 72.5 | 36.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 99 | C | 70.5 | 61.5 | 63.5 | 61.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 100 | T | 89.5 | 75.5 | 78.5 | 76.5 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | POBRE |
| 101 | C | 61.5 | 55.5 | 55.5 | 52.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 102 | T | 67.5 | 58.5 | 59.5 | 49.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 103 | C | 54.5 | 54.5 | 54.5 | 47.5 | | | | |

Cuadro 22. Evaluación de consistencia mediante la comparación de Velocidades de Operación de elementos geométricos consecutivos (Criterio II) – Sentido Descenso

| | | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|---|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| No. ELEM | ELEM | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 1 | C | 67.5 | 61.5 | 69.5 | 49.5 | | | | |
| 2 | T | 80.5 | 63.5 | 75.5 | 54.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 3 | C | 76.5 | 65.5 | 69.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 4 | T | 77.5 | 63.5 | 70.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 5 | C | 77.5 | 69.5 | 80.5 | 66.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 6 | T | 77.5 | 58.5 | 71.5 | 70.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 7 | C | 70.5 | 63.5 | 61.5 | 52.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 8 | T | 71.5 | 60.5 | 69.5 | 68.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 9 | C | 64.5 | 62.5 | 59.5 | 53.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 10 | T | 79.5 | 62.5 | 67.5 | 71.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 11 | C | 80.5 | 64.5 | 65.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 12 | T | 78.5 | 71.5 | 67.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 13 | C | 86.5 | 63.5 | 61.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

| No. ELEM | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|---|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 14 | T | 83.5 | 70.5 | 59.5 | 63.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 15 | C | 75.5 | 65.5 | 64.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 16 | T | 70.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 17 | C | 55.5 | 48.5 | 56.5 | 44.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | POBRE |
| 18 | T | 74.5 | 60.5 | 56.5 | 48.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 19 | C | 68.5 | 67.5 | 65.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 20 | T | 75.5 | 64.5 | 63.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 21 | C | 80.5 | 62.5 | 68.5 | 49.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 22 | T | 82.5 | 75.5 | 65.5 | 62.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE |
| 23 | C | 72.5 | 62.5 | 71.5 | 66.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 24 | T | 73.5 | 60.5 | 67.5 | 64.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 25 | C | 69.5 | 58.5 | 65.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 26 | T | 82.5 | 72.5 | 79.5 | 62.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 27 | C | 78.5 | 59.5 | 70.5 | 57.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 28 | T | 78.5 | 65.5 | 79.5 | 53.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 29 | C | 85.5 | 66.5 | 69.5 | 45.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 30 | T | 83.5 | 65.5 | 79.5 | 68.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 31 | C | 79.5 | 57.5 | 71.5 | 70.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 32 A | T | 51.5 | 45.5 | 47.5 | 39.5 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | POBRE |
| 32 B | T | 59.5 | 55.5 | 58.5 | 53.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| 33 | C | 64.5 | 58.5 | 62.5 | 58.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 34 | T | 69.5 | 64.5 | 62.5 | 50.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 35 | C | 61.5 | 60.5 | 66.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 36 | T | 74.5 | 68.5 | 73.5 | 62.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 37 | C | 79.5 | 58.5 | 61.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 38 | T | 96.5 | 69.5 | 67.5 | 68.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 39 | C | 79.5 | 69.5 | 58.5 | 68.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 40 | T | 84.5 | 73.5 | 72.5 | 68.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 41 | C | 79.5 | 62.5 | 77.5 | 63.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 42 | T | 79.5 | 63.5 | 75.5 | 65.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 43 | C | 86.5 | 68.5 | 62.5 | 70.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 44 | T | 78.5 | 74.5 | 69.5 | 83.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 45 | C | 81.5 | 78.5 | 77.5 | 63.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 46 | T | 82.5 | 74.5 | 58.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 47 | C | 73.5 | 69.5 | 73.5 | 62.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |

| No. ELEM | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|---|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 48 | T | 83.5 | 68.5 | 74.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 49 | C | 77.5 | 65.5 | 60.5 | 94.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | POBRE |
| 50 | T | 84.5 | 66.5 | 70.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 51 | C | 81.5 | 68.5 | 64.5 | 69.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 52 | T | 82.5 | 58.5 | 65.5 | 58.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 53 | C | 74.5 | 63.5 | 67.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 54 | T | 78.5 | 59.5 | 65.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 55 | C | 74.5 | 73.5 | 70.5 | 58.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 56 | T | 67.5 | 57.5 | 62.5 | 57.5 | BUENO | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 57 | C | 73.5 | 58.5 | 66.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 58 | T | 75.5 | 65.5 | 67.5 | 58.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 59 | C | 72.5 | 61.5 | 73.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 60 | T | 77.5 | 61.5 | 64.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 61 | C | 71.5 | 62.5 | 65.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 62 | T | 78.5 | 62.5 | 67.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 63 | C | 64.5 | 56.5 | 55.5 | 55.5 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 64 | T | 78.5 | 65.5 | 56.5 | 64.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 65 | C | 68.5 | 69.5 | 63.5 | 65.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 66 | T | 82.5 | 61.5 | 67.5 | 58.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 67 | C | 70.5 | 56.5 | 48.5 | 52.5 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 68 | T | 82.5 | 68.5 | 63.5 | 45.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 69 | C | 79.5 | 60.5 | 60.5 | 67.5 | BUENO | BUENO | BUENO | POBRE |
| 70 | T | 75.5 | 67.5 | 72.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 71 | C | 60.5 | 57.5 | 56.5 | 50.5 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 72 | T | 87.5 | 67.5 | 78.5 | 68.5 | POBRE | BUENO | POBRE | ACEPTABLE |
| 73 | C | 90.5 | 65.5 | 66.5 | 67.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 74 | T | 80.5 | 70.5 | 83.5 | 65.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 75 | C | 67.5 | 57.5 | 64.5 | 60.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 76 | T | 68.5 | 66.5 | 61.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 77 | C | 72.5 | 64.5 | 53.5 | 69.5 | BUENO | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 78 | T | 74.5 | 64.5 | 69.5 | 60.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 79 | C | 73.5 | 62.5 | 58.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 80 | T | 89.5 | 65.5 | 60.5 | 69.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | ACEPTABLE |
| 81 | C | 66.5 | 61.5 | 53.5 | 60.5 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 82 | T | 111.5 | 73.5 | 86.5 | 66.5 | POBRE | ACEPTABLE | POBRE | BUENO |

| No. ELEM | ELEM | VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) - SENTIDO DESCENSO | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | |
|----------|------|---|-------|------------|------------|--|-----------|------------|------------|
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | | | | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 83 | C | 99.5 | 75.5 | 71.5 | 65.5 | ACEPTABLE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 84 | T | 99.5 | 63.5 | 84.5 | 67.5 | BUENO | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 85 | C | 82.5 | 64.5 | 74.5 | 68.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 86 | T | 76.5 | 72.5 | 72.5 | 62.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 87 | C | 71.5 | 65.5 | 69.5 | 63.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 88 | T | 73.5 | 59.5 | 66.5 | 61.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 89 | C | 76.5 | 66.5 | 62.5 | 68.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 90 | T | 85.5 | 73.5 | 69.5 | 64.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 91 | C | 80.5 | 68.5 | 66.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 92 | T | 76.5 | 75.5 | 65.5 | 59.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 93 | C | 65.5 | 59.5 | 59.5 | 51.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO | BUENO |
| 94 | T | 73.5 | 65.5 | 64.5 | 57.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 95 | C | 65.5 | 65.5 | 62.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 96 | T | 80.5 | 64.5 | 71.5 | 54.5 | ACEPTABLE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 97 | C | 72.5 | 63.5 | 61.5 | 55.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 98 | T | 95.5 | 68.5 | 72.5 | 62.5 | POBRE | BUENO | ACEPTABLE | BUENO |
| 99 | C | 102.5 | 73.5 | 70.5 | 56.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 100 | T | 76.5 | 67.5 | 69.5 | 61.5 | POBRE | BUENO | BUENO | BUENO |
| 101 | C | 56.5 | 55.5 | 54.5 | 58.5 | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | BUENO |
| 102 | T | 58.5 | 59.5 | 60.5 | 52.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| 103 | C | 55.5 | 57.5 | 60.5 | 48.5 | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |

Los elementos de consistencia crítica (Referidos como Pobres por el Autor), en los sentidos de flujo Ascenso y Descenso se detallan a continuación.

Del anterior análisis se descarta el elemento 32A y 32B por contener el peaje, motivo que genera una desaceleración inducida por factores ajenos al diseño geométrico del tramo vial.

La evaluación por el criterio II, muestra puntos críticos que identifican zonas que inducen al conductor a acciones de fuerte desaceleración. Este método permite un análisis más adecuado porque muestra de manera más integral el comportamiento del conductor durante el recorrido.

El resultado de las dos evaluaciones de consistencia vial, se compiló e identificó en el Cuadro 23, los elementos geométricos que bajo los criterios I y II coinciden en la categoría de consistencia pobre.

Cuadro 23. Puntos de inconsistencia vial coincidentes en el proceso de evaluación de velocidad de diseño y operación (Criterio I) y velocidades de operación consecutivas (Criterio II)

| No. ELEM | ELEM | CRITERIO I (COMPARACIÓN VEL. DE DISEÑO Y OPERACIÓN) | | | | | | | | CRITERIO II (COMPARACIÓN VEL. DE OPERACIÓN CONSECUTIVAS) | | | | | | | |
|----------|------|---|-------|------------|------------|------------------|-------|------------|------------|--|-------|------------|------------|------------------|-------|------------|------------|
| | | SENTIDO ASCENSO | | | | SENTIDO DESCENSO | | | | SENTIDO ASCENSO | | | | SENTIDO DESCENSO | | | |
| | | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G | AUTOS | BUSES | CAMIÓN C2P | CAMIÓN C2G |
| 2 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 72 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 73 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 74 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 81 | C | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 82 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 98 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | T | | | | | | | | | | | | | | | | |

 Punto Crítico, relaciona el elemento con la categoría vehicular y sentido de flujo.

3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para ejercer un criterio de análisis, basado en los resultados de la evaluación de consistencia vial mediante el anterior estudio de velocidades; se inicia por definir segmentos del tramo vial, para de esta forma evaluar resultados en subconjuntos de elementos.

Segmento comprendido entre las abscisas K52+962.471 y K56+902.364

Subconjunto vial que comprende 3,94 km, referenciando 18 curvas y 17 tangencias, caracterizado por contener a lo largo de su recorrido el punto de control (Peaje).

La evaluación de consistencia de este subconjunto mediante el presente estudio de velocidad, permite identificar que una comparación de la velocidad de diseño

con la velocidad de operación de los elementos constituyentes de este, demuestra que en particular los autos circulantes en sentido ascenso y descenso exceden (diferencia por exceso mayor a 20KPH) en la mayor parte del recorrido a la velocidad de diseño de los elementos, por el contrario la circulación de Buses y camiones tipo C2G se ve excedida en un valor aceptable menor a 20KPH. Adicionalmente a esto la evolución de continuidad de velocidad flujo entre elementos (Comparación de velocidad de operación de elementos geométricos consecutivos) demuestra que el flujo en autos, buses y camiones C2P no se ve afectado por transiciones geométricas que afecten cambios de velocidad mayores a 20KPH, manteniendo en su gran mayoría cambios menores a 10KPH lo cual según la revisión bibliográfica antes descrita limita una buena consistencia. Aunque hay que resaltar que los camiones C2G generan puntos de pobre consistencia en los elementos No. 2 y 3 (Sentido ascenso) que si se tiene en cuenta las dimensiones del camión pueden estar vinculados al diámetro relativamente pequeño de la curva No.2 consecuente con una entretangencia de pequeña longitud; sin olvidar la posibilidad que el inconveniente se deba a factores geométricos no analizados en el presente estudio.

Además, se podrá decir que el factor que genera discontinuidad en la velocidad de flujo en este segmento es el centro de control o también llamado peaje, lo cual es un factor externo a las condiciones de la vía.

Segmento comprendido entre las abscisas K56+902.364 y K61+600.805

Subconjunto vial que comprende 4.698 km, referenciando 17 curvas y 18 tangencias.

De igual forma que el anterior segmento, este refleja que los conductores de autos a lo largo de su recorrido exceden significativamente a la velocidad de diseño, demostrando un problema de seguridad vial en el sector, siendo susceptible a accidentes de tránsito en esta categoría vehicular. En el caso de buses, camiones tipo C2P y C2G se dirá que el tramo se adecua a las condiciones de su flujo pero aun así, la velocidad de operación de estos excede en algunos puntos a la velocidad estipulada por las condiciones de la vía.

En el análisis de consistencia del segmento por la comparación de velocidades de operación consecutivas se puede observar que el problema persiste en los camiones C2P siendo estos los de mayor fluctuación de velocidad a lo largo del recorrido, identificando particularmente a los elementos No. 49 y 50, como puntos de pobre consistencia en sentido ascenso y descenso. Problema que puede estar vinculado a condiciones geométricas del elemento, condiciones de visibilidad del conductor y/o problemas de señalización, los cuales son condiciones no detalladas en el presente estudio. Por tanto, se recomienda un estudio de consistencia vial a mayor profundidad considerando otros parámetros adicionales a la velocidad de recorrido.

Segmento comprendido entre las abscisas K61+600.805 y K68+082.692

Subconjunto vial que comprende 6.481 km, referenciando 17 curvas y 16 tangencias.

En este segmento sucede una situación similar a los anteriormente analizados debido a que los autos continúan sobresaliendo por su excesiva velocidad, situación que en este caso es seguida por buses y camiones tipo C2P y C2G.

Por lo anterior, si se analiza la velocidad de operación con respecto a la de diseño en los elementos consignados en el tramo, se identifica que todas las categorías vehiculares de estudio demarcan puntos de inconsistencia vial. Situación que como se mencionó anteriormente con lleva a posibilitar un estudio que abarque más variables que afecten la consistencia de esta vía y de esta forma dar una solución completamente certera al inconveniente.

Según el diagnóstico realizado anteriormente en cada subconjunto del tramo vial de estudio, se puede afirmar que la presente investigación demuestra que los autos en su gran mayoría exceden a la velocidad de diseño, situación que se enmarca dentro de un conflicto de seguridad vial en el sector. Generando un contexto que directamente estaría asociado con la recurrencia de accidentes de tránsito que involucren este tipo de vehículos en el sector. La misma situación relaciona buses y camiones solo que en menor magnitud ya que estos en su gran mayoría, circulan con velocidades de operación menores a las de un auto, identificando así en este caso una menor cantidad de elementos inconsistentes (pobre consistencia) debido a estas categorías vehiculares.

En el caso de la fluctuación en la velocidad de operación a lo largo del tramo, se podría afirmar que la vía establece condiciones aceptables de flujo; a pesar de identificar elementos que con su consecuente elemento geométrico puedan desarrollar inconvenientes al conductor, situación que lo obliga a tomar acciones de aceleración o desaceleración según sea el caso. Adicionalmente se aconseja aplicar un estudio de mayor amplitud en variables influyentes en la velocidad de operación.

3.6. PERFILES DE VELOCIDAD

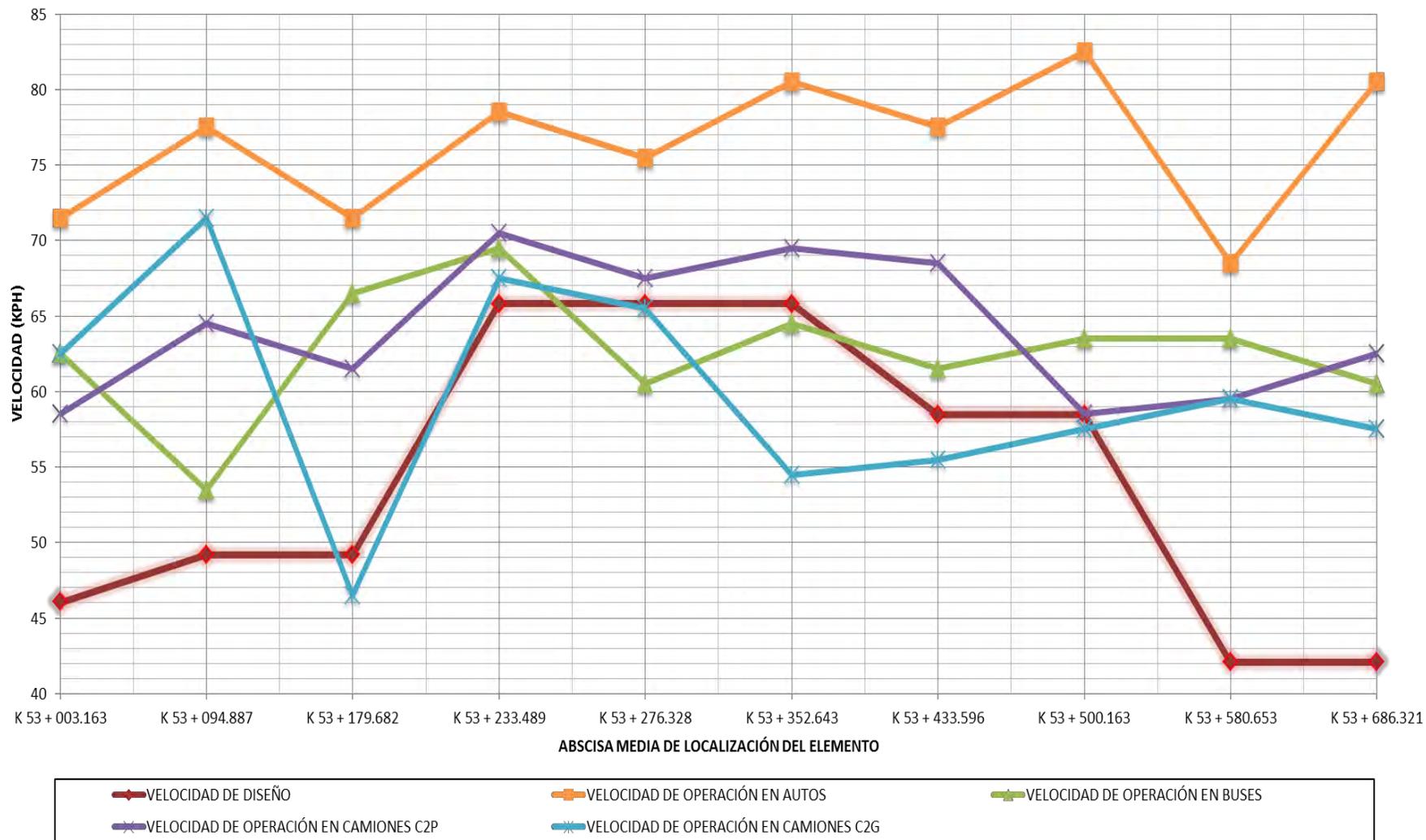
La evaluación de consistencia vial mediante la comparación de velocidad de diseño y de operación de cada elemento geométrico se complementó con la elaboración de perfiles de velocidad que demarcan gráficamente la velocidad de diseño y operación en función continua del abscisado de la vía, ofreciendo facilidad de comprensión e interpretación.

Para diagramar los perfiles se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

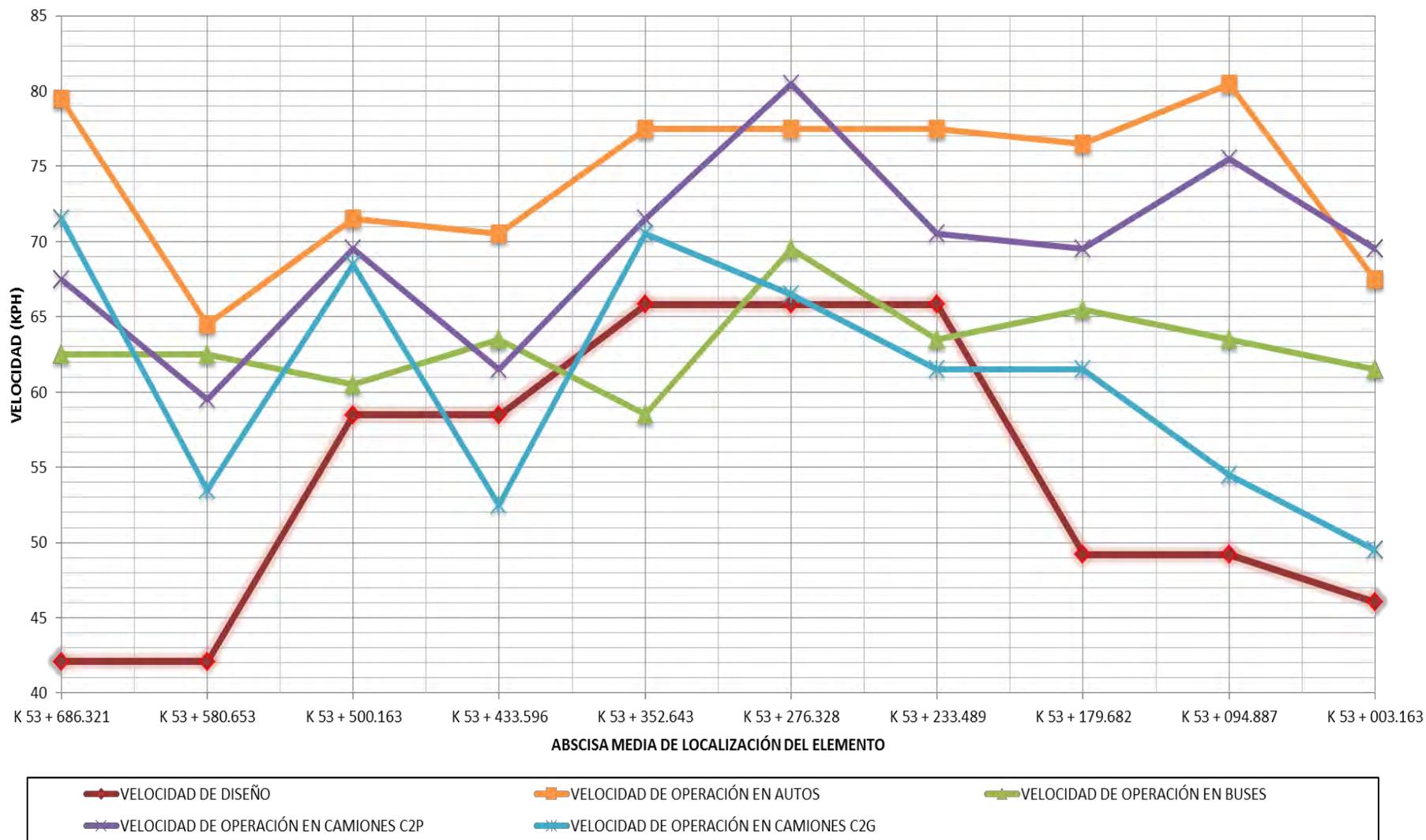
- a) Se ubicó cartesianamente las velocidades de diseño y operación en la abscisa media de cada elemento ya que fue éste el punto de muestreo, tal como se estableció en la metodología investigativa.
- b) Los diagramas relacionan una única velocidad de diseño, frente a cuatro velocidades de operación pertenecientes a autos, buses y camiones.
- c) Los perfiles dependen del sentido de flujo a analizar. Considerando los sentidos de ascenso y descenso, se desarrollaron graficas alternas de variación de velocidad de operación en el abscisado, estableciendo para el sentido de ascenso la continuidad del abscisado y para el descenso se establece el inverso.

Establecidos los parámetros anteriores, se representan a continuación los perfiles de velocidad. (Ver Gráficos 1 a 20)

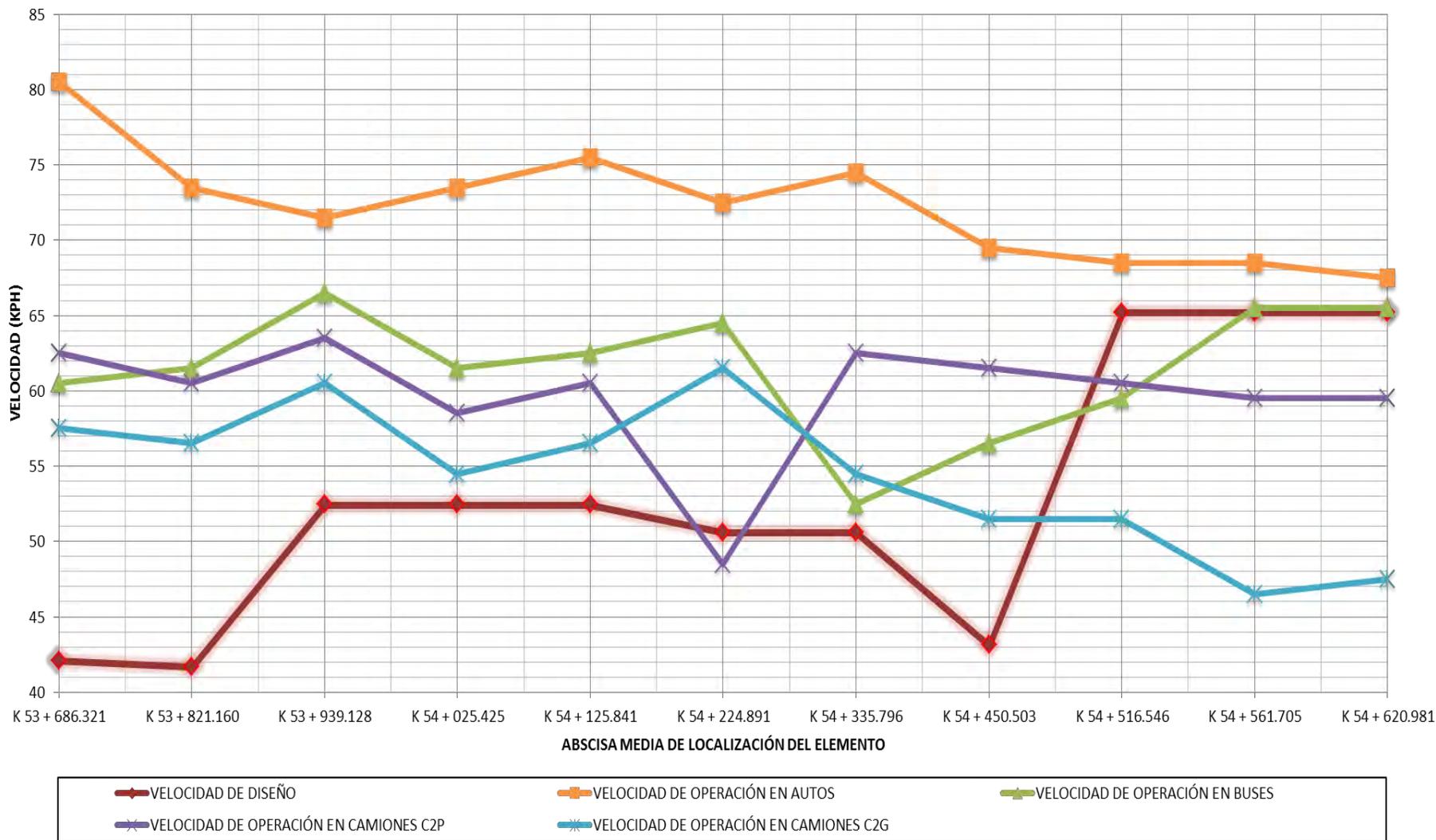
Gráfica 1. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+003.163 Y K53+686.321 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



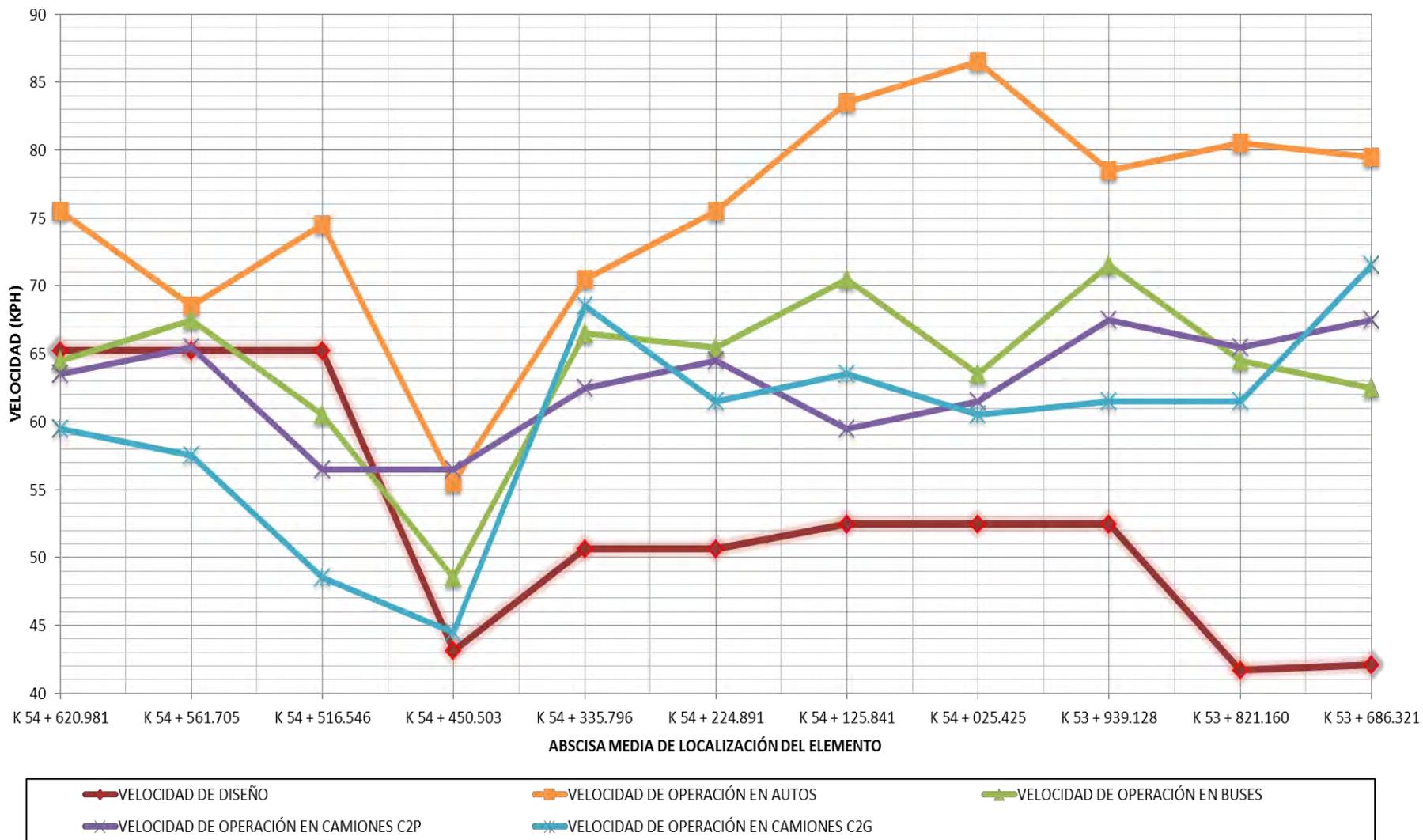
Gráfica 2. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+686.321 Y K53+003.163 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



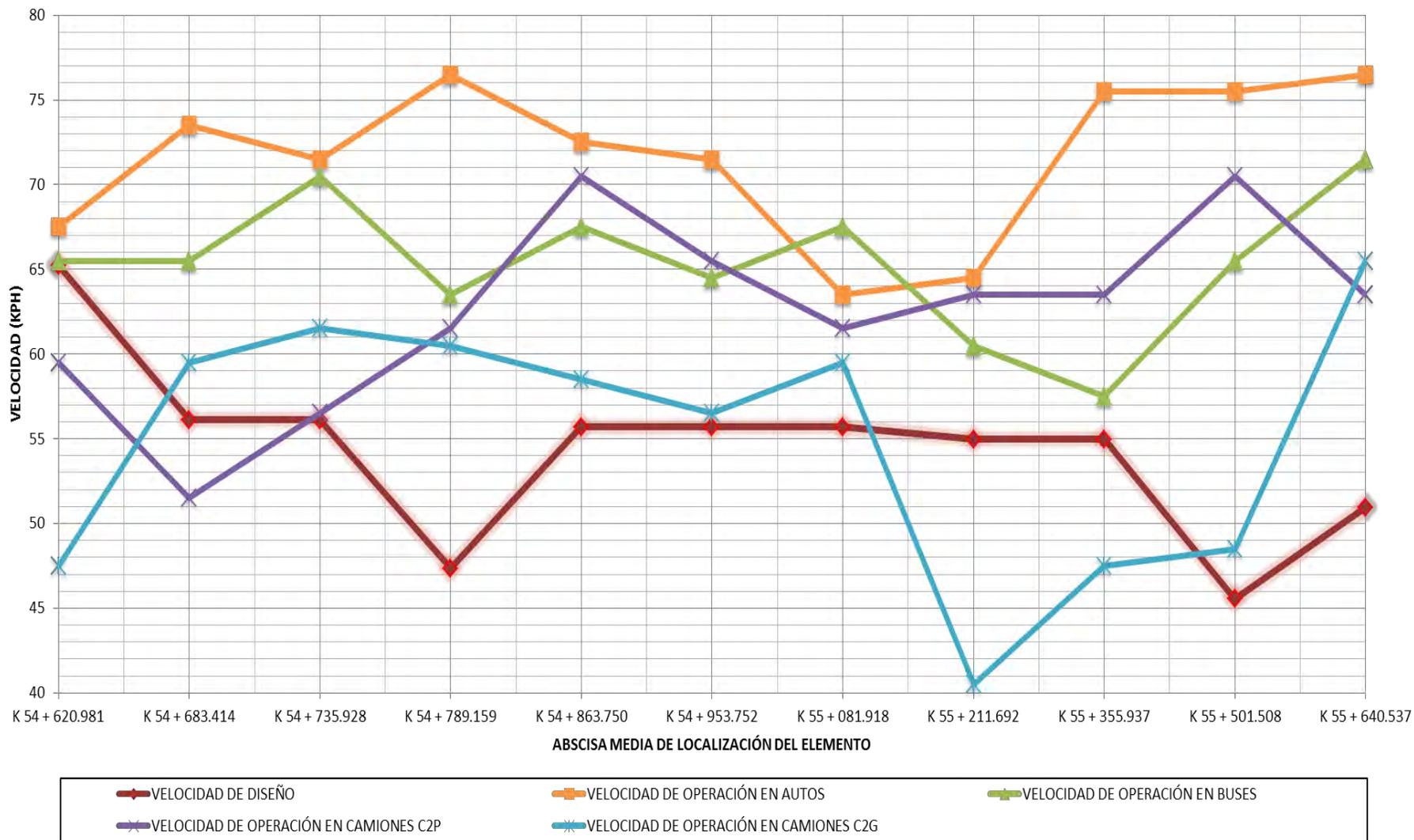
Gráfica 3. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K53+686.321 Y K54+620.981 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



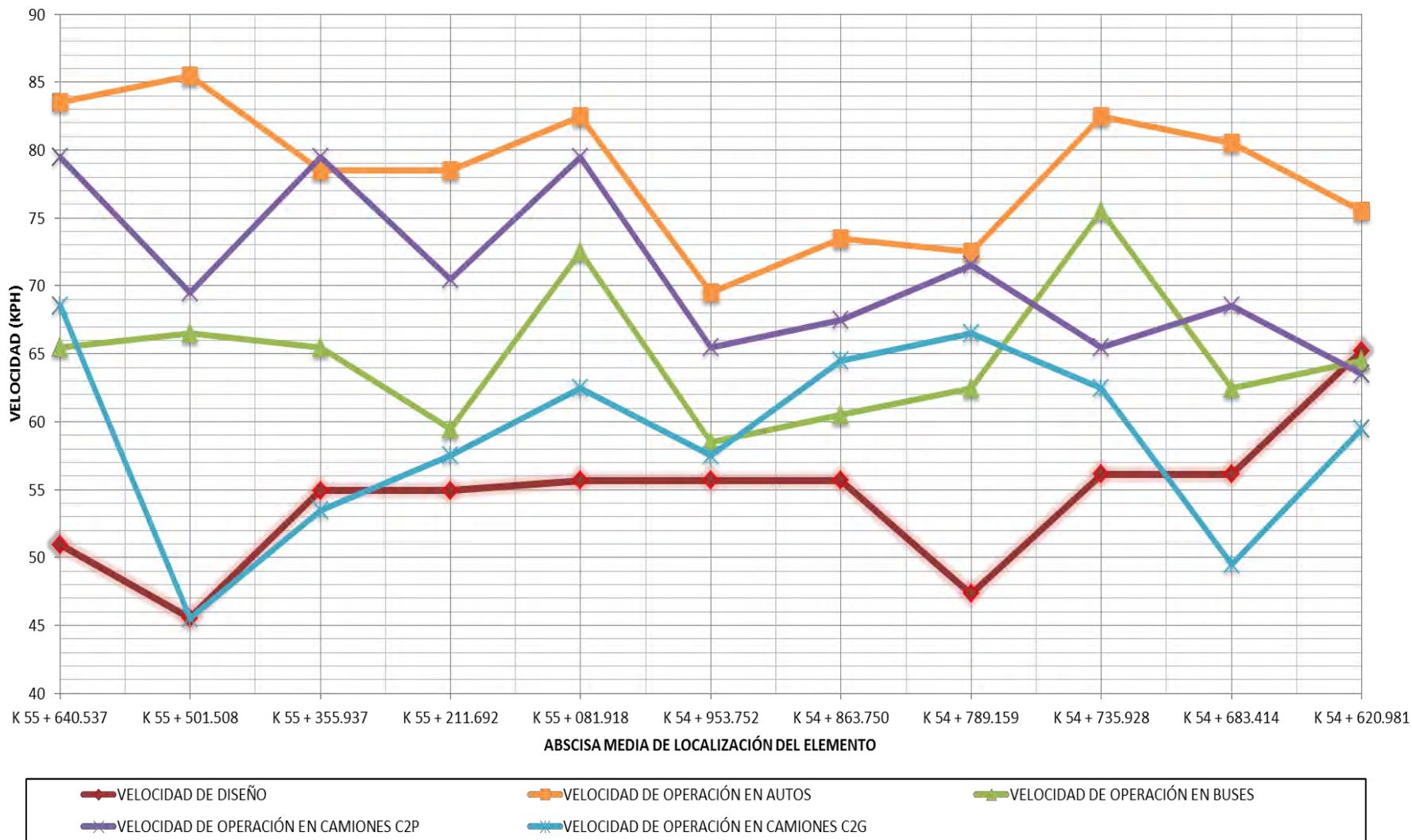
Gráfica 4. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K54+620.981 Y K53+686.321 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



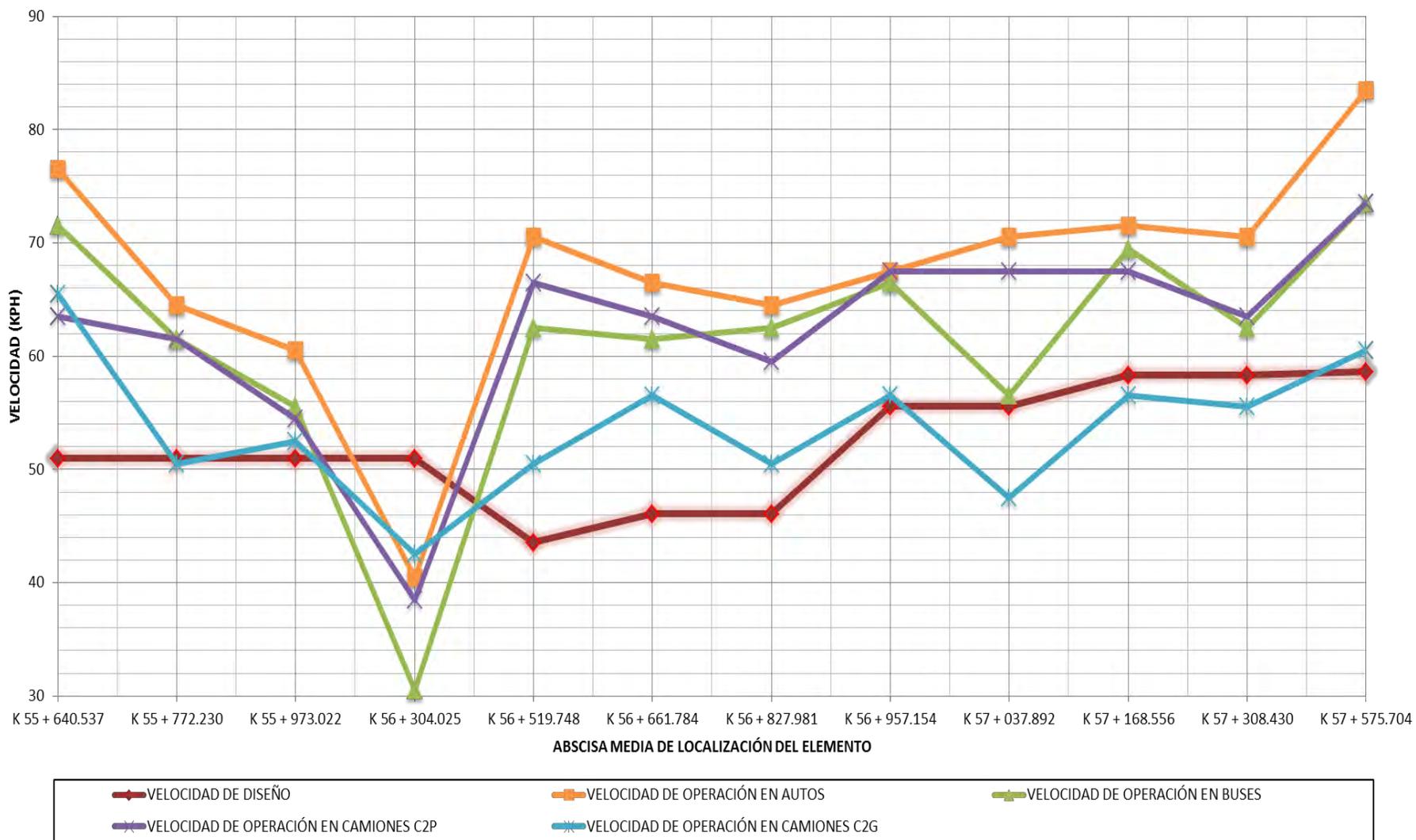
Gráfica 5. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K54+620.981 Y K55+640.537 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



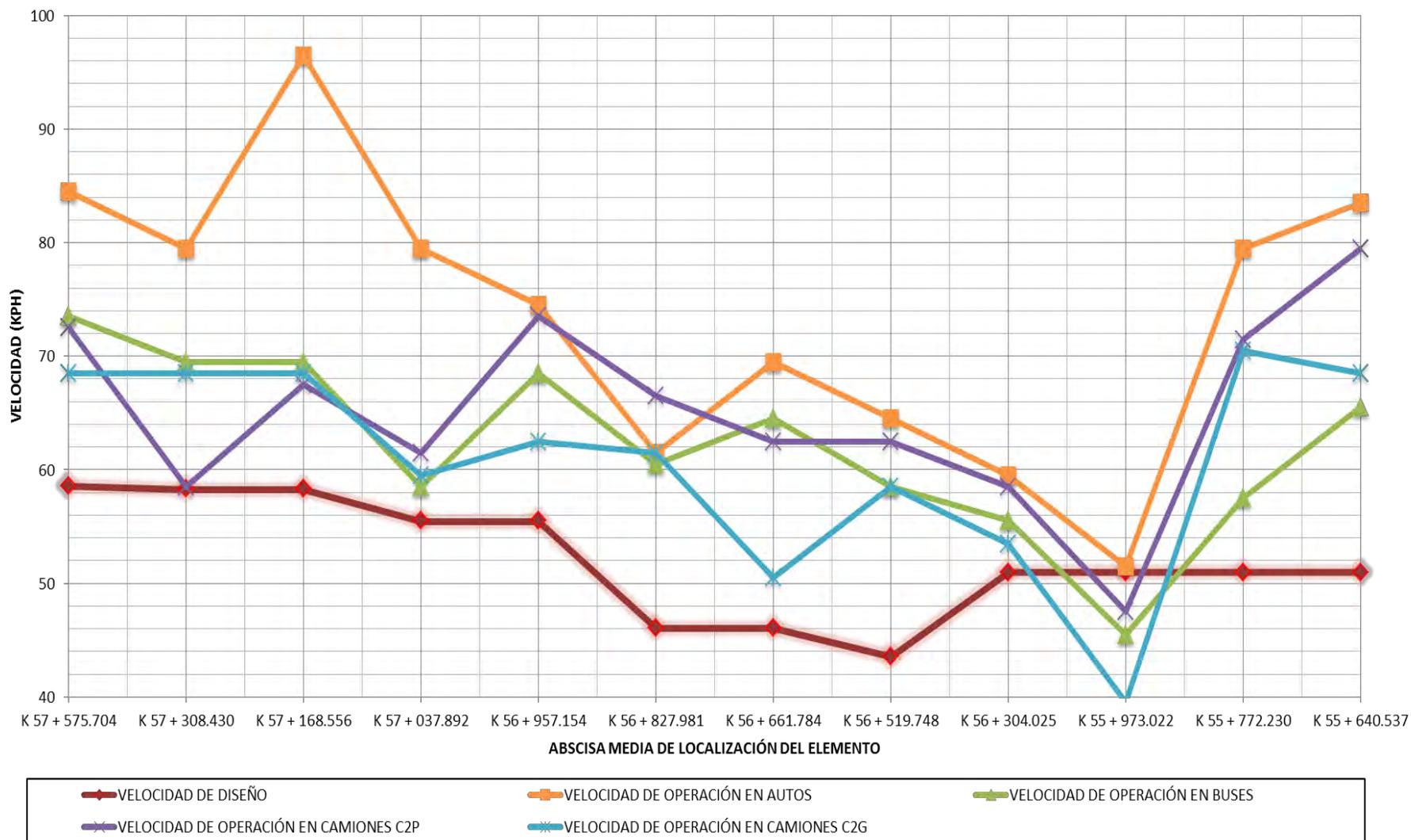
Gráfica 6. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K55+640.537 Y K54+620.981 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



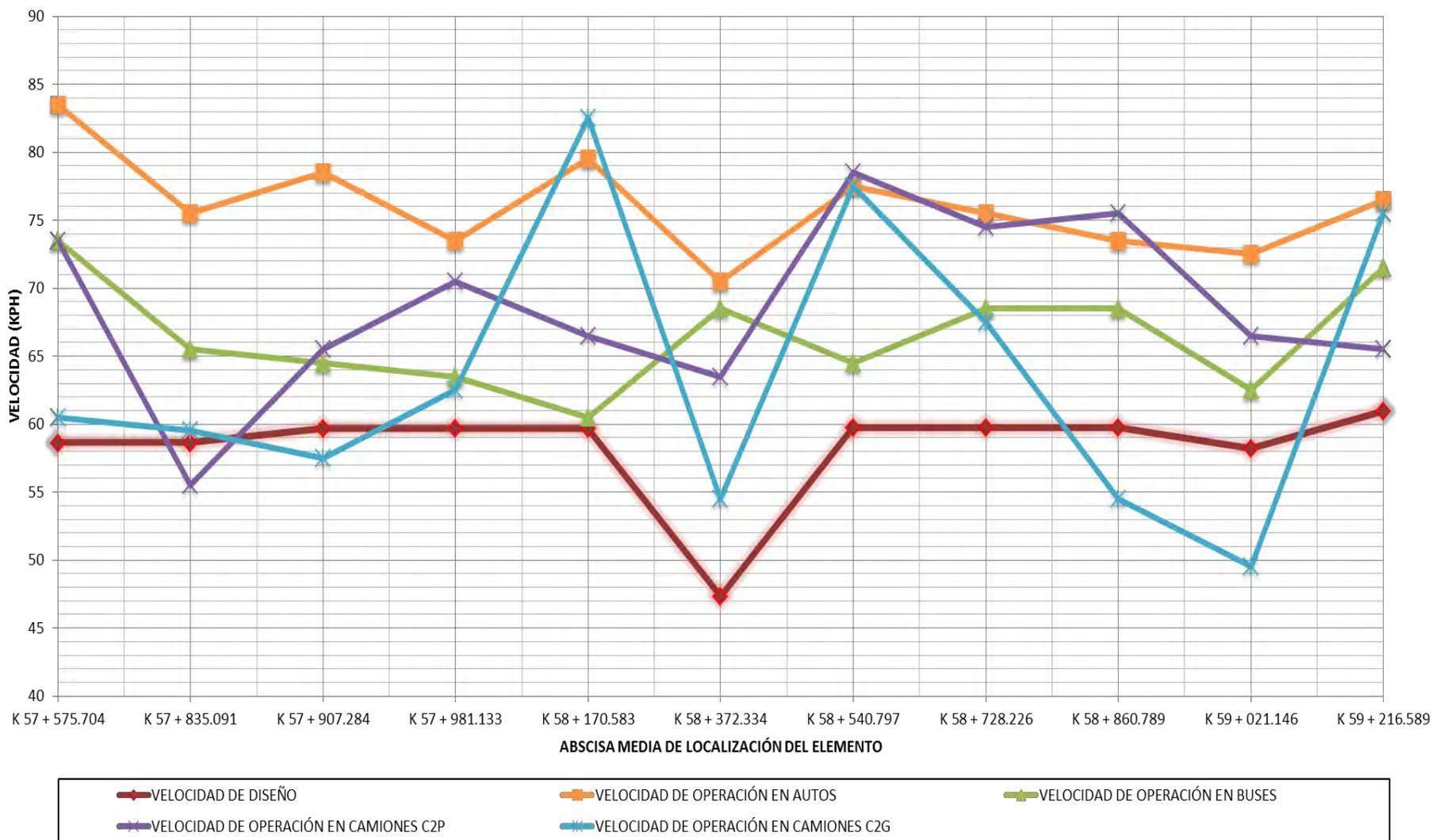
Gráfica 7. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K55+640.537 Y K57+575.704 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



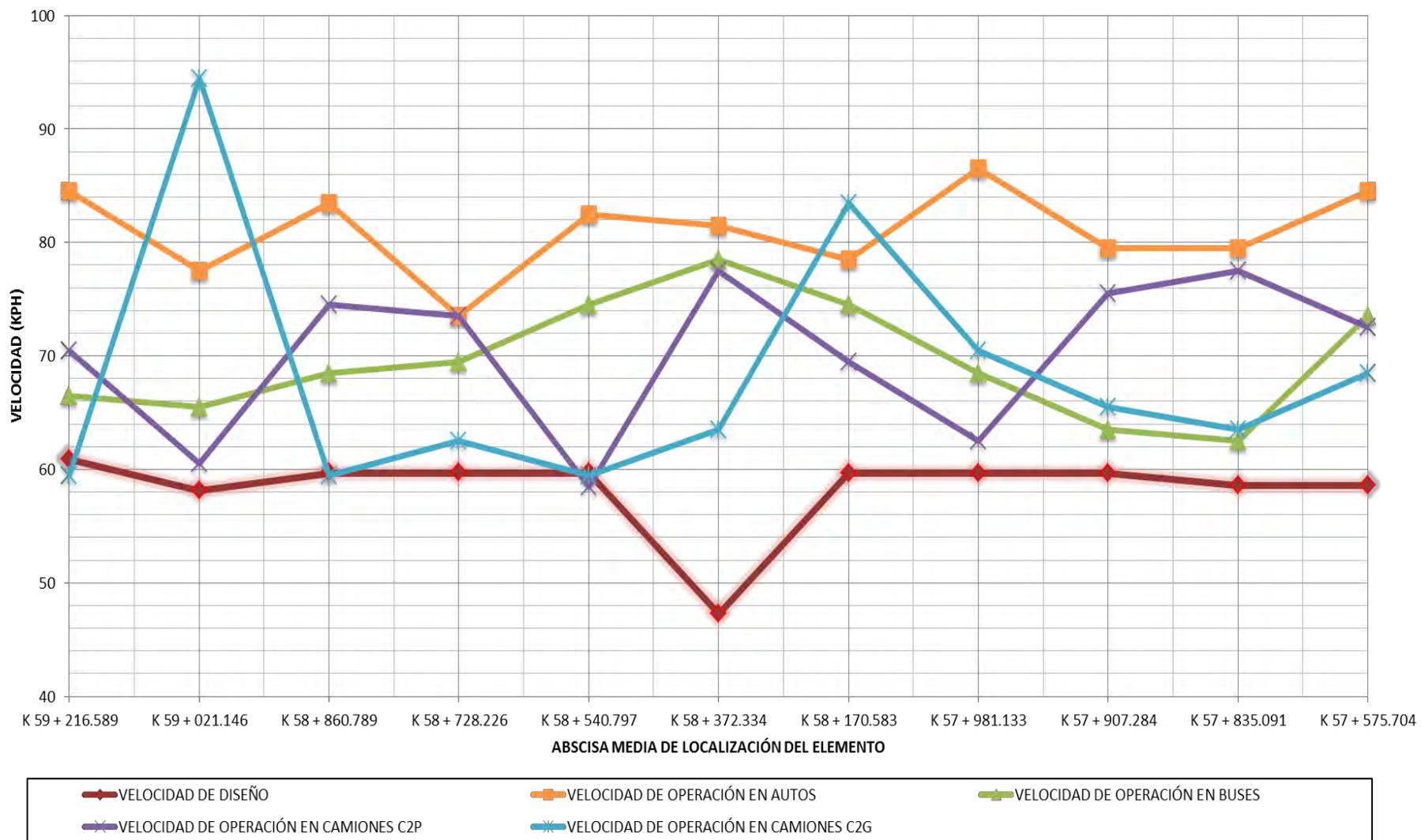
Gráfica 8. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K57+575.704 Y K55+640.537 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



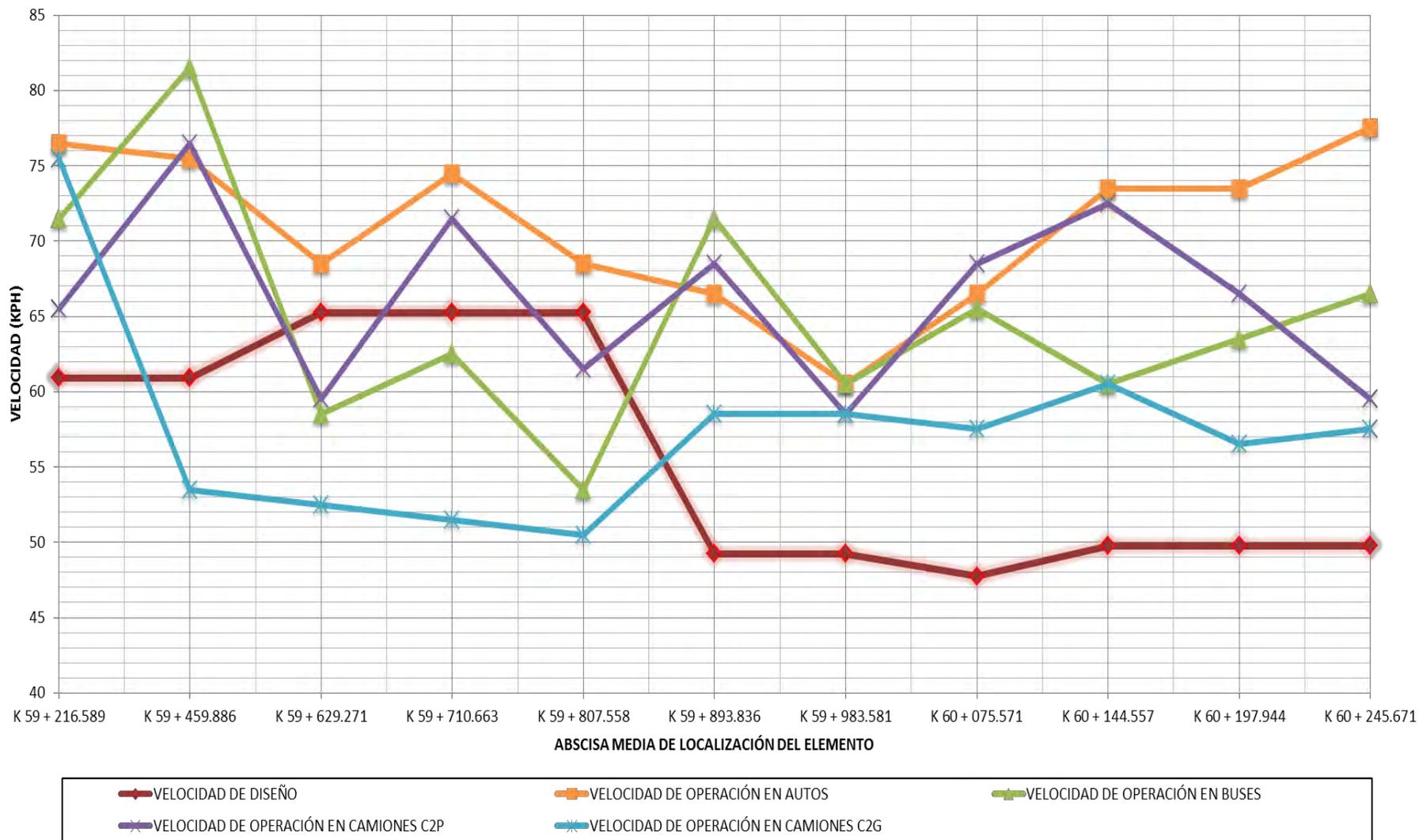
Gráfica 9. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K57+575.704 YK59+216.589 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



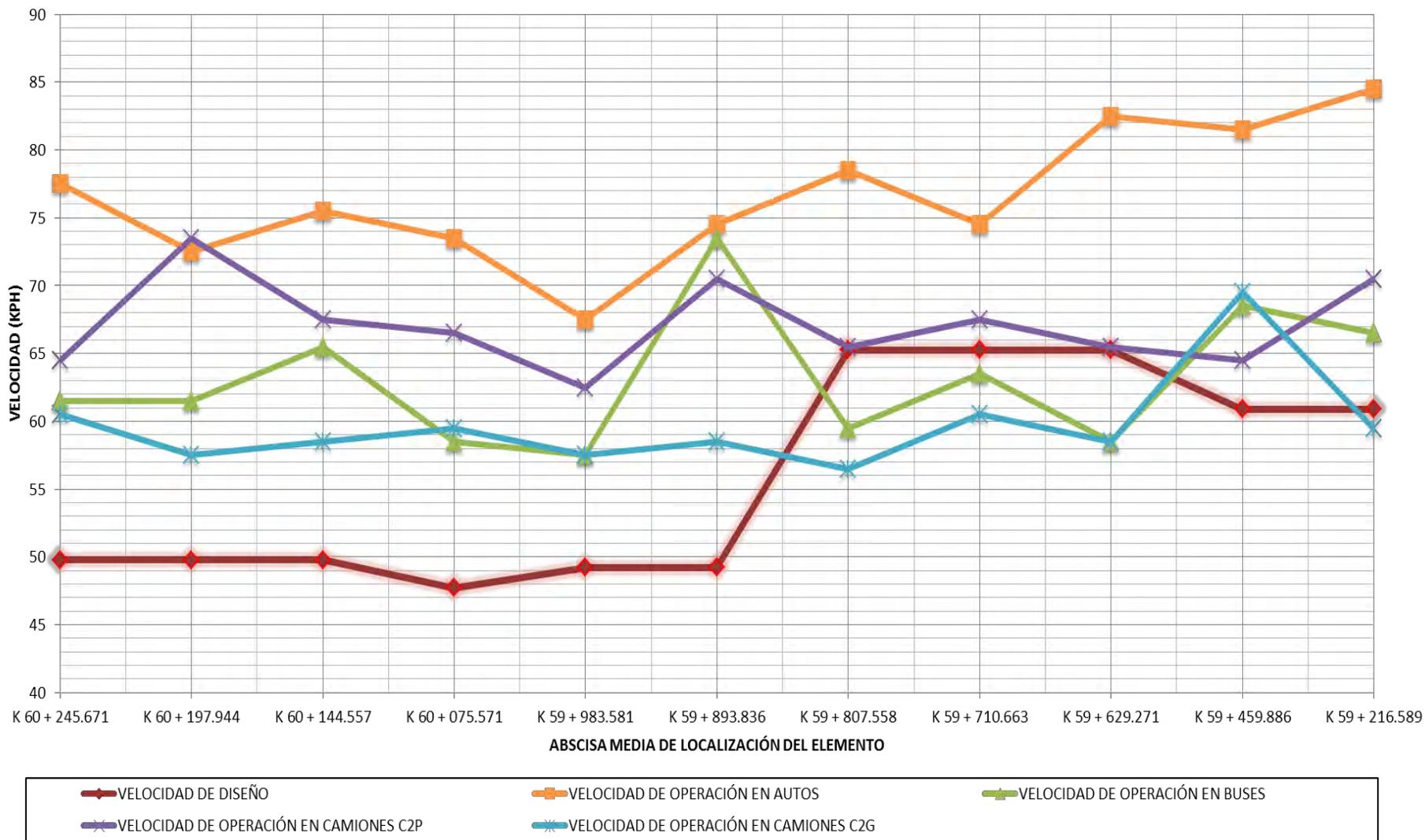
Gráfica 10. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K59+216.589 Y K57+575.704 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



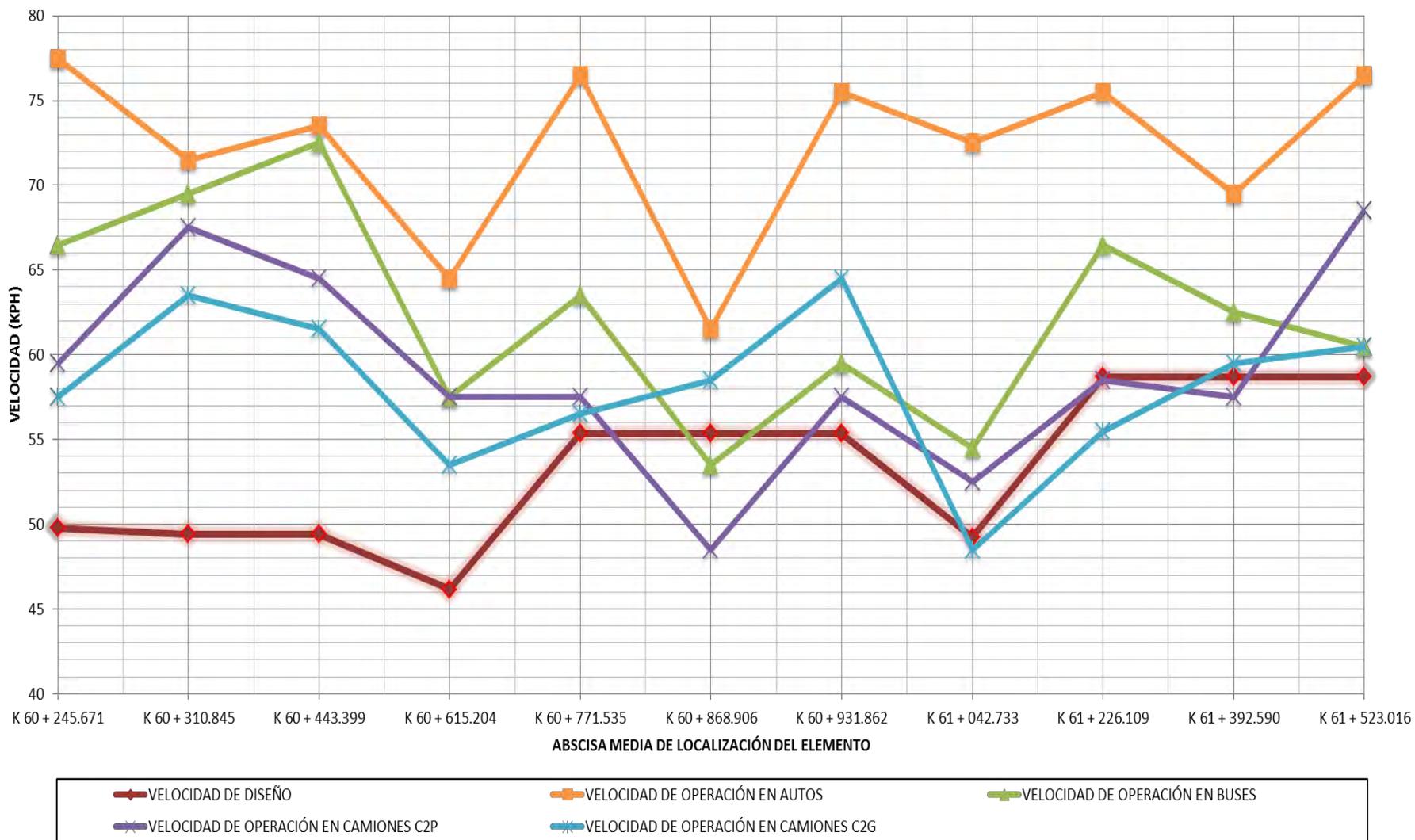
Gráfica 11. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K59+216.589 Y K60+245.671 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



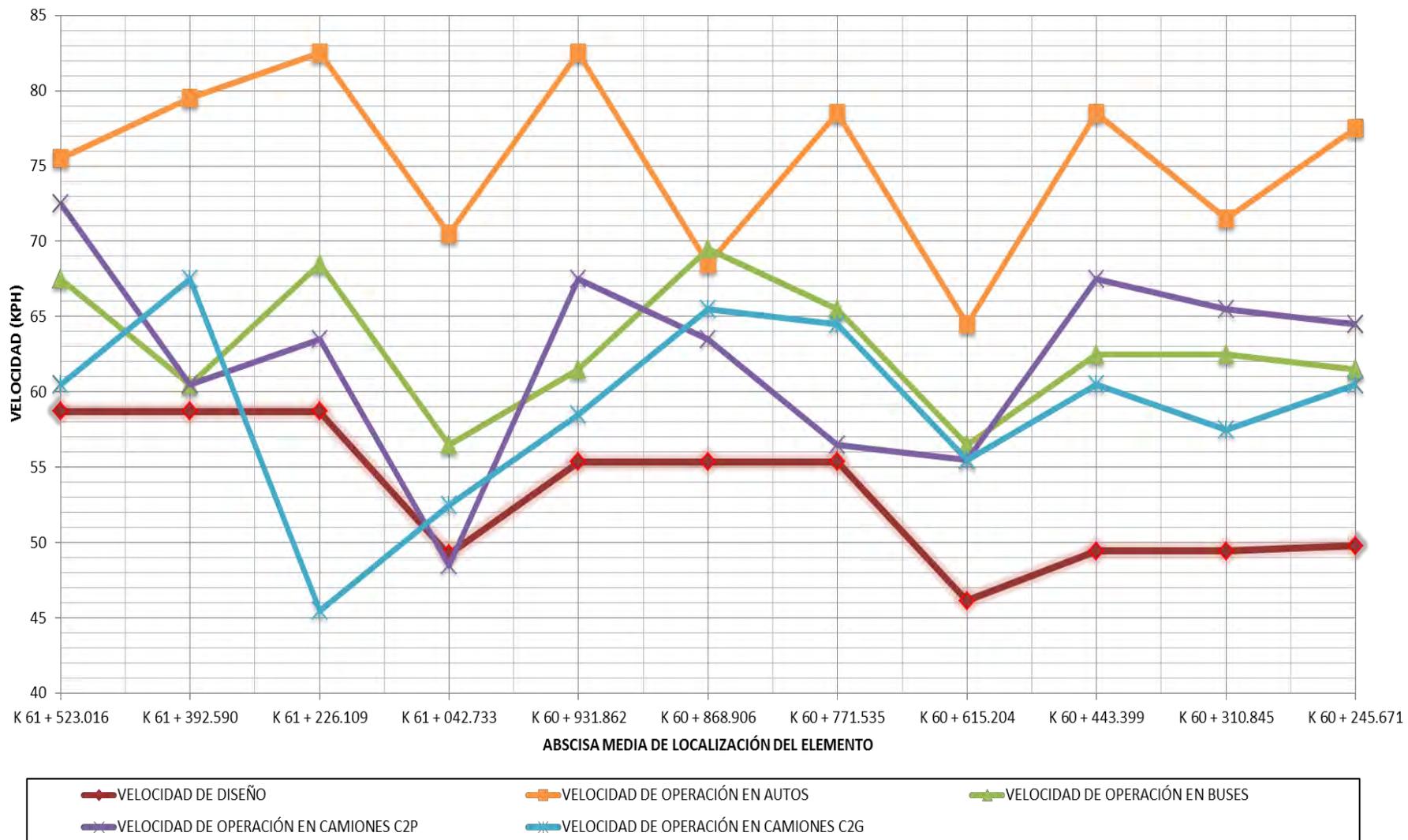
Gráfica 12. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K60+245.671 Y K59+216.589 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



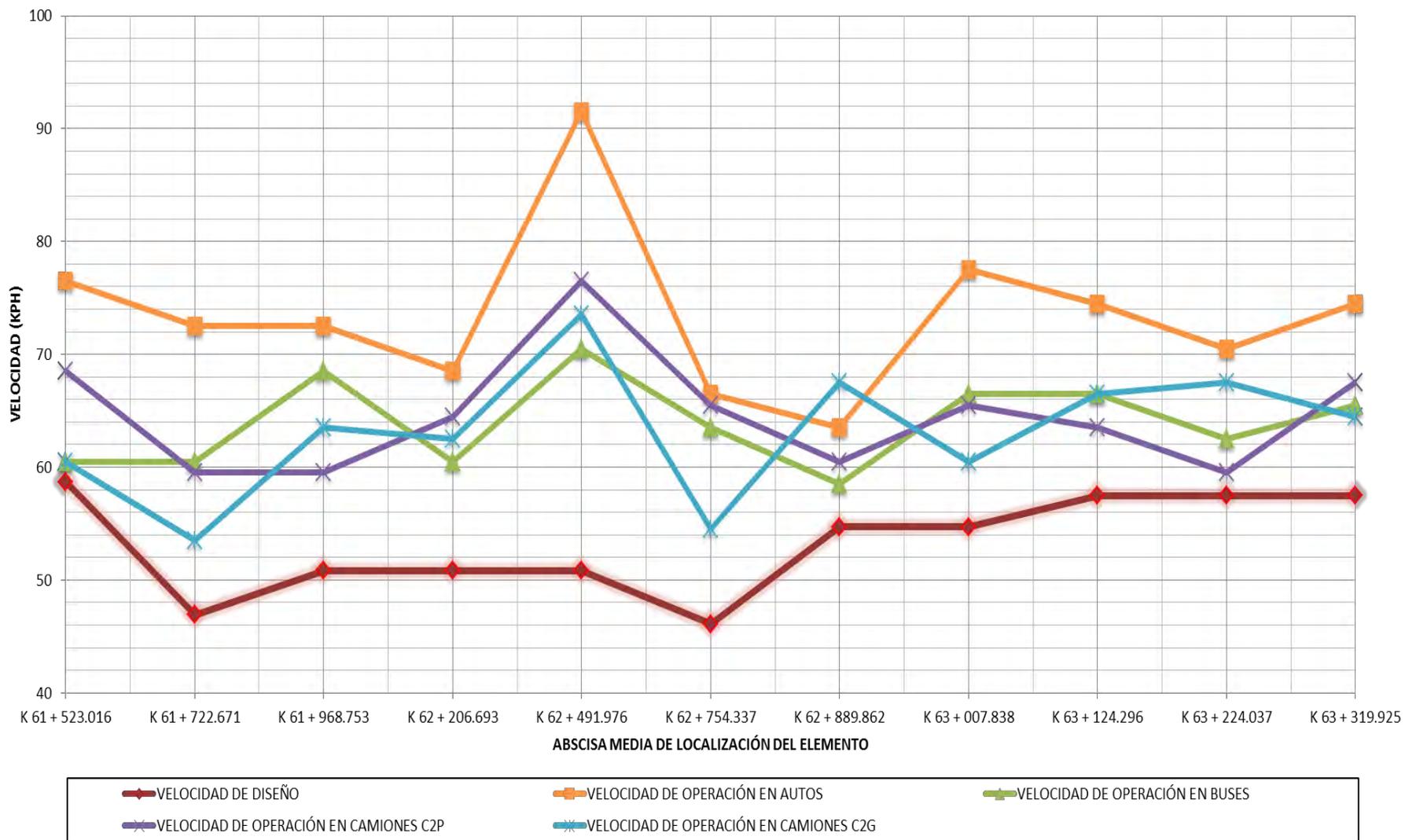
Gráfica 13. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K60+245.671 Y K61+523.016 Y DE LA VÍA PASTO – IPIALES



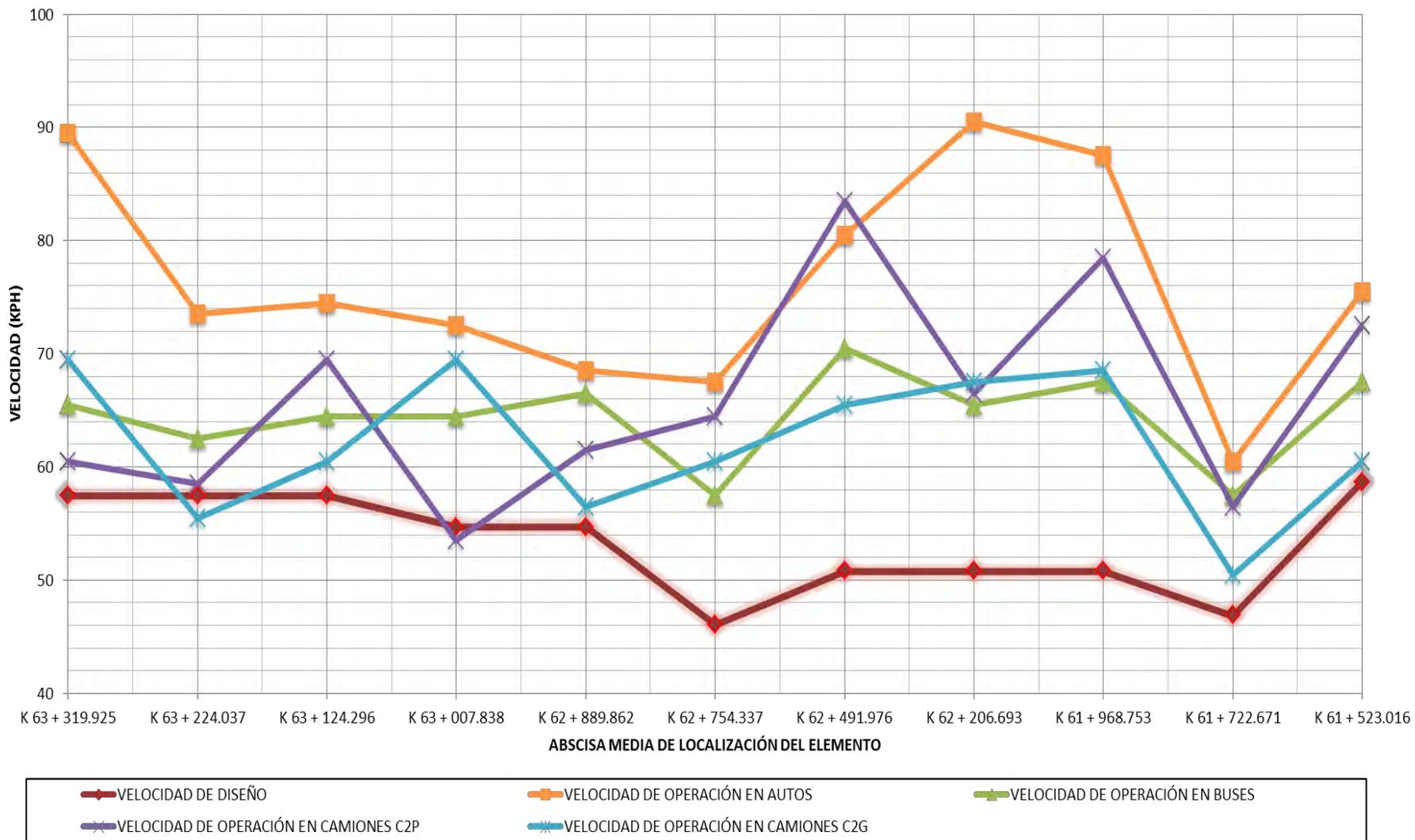
Gráfica 14. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K61+523.016 Y K60+245.671 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



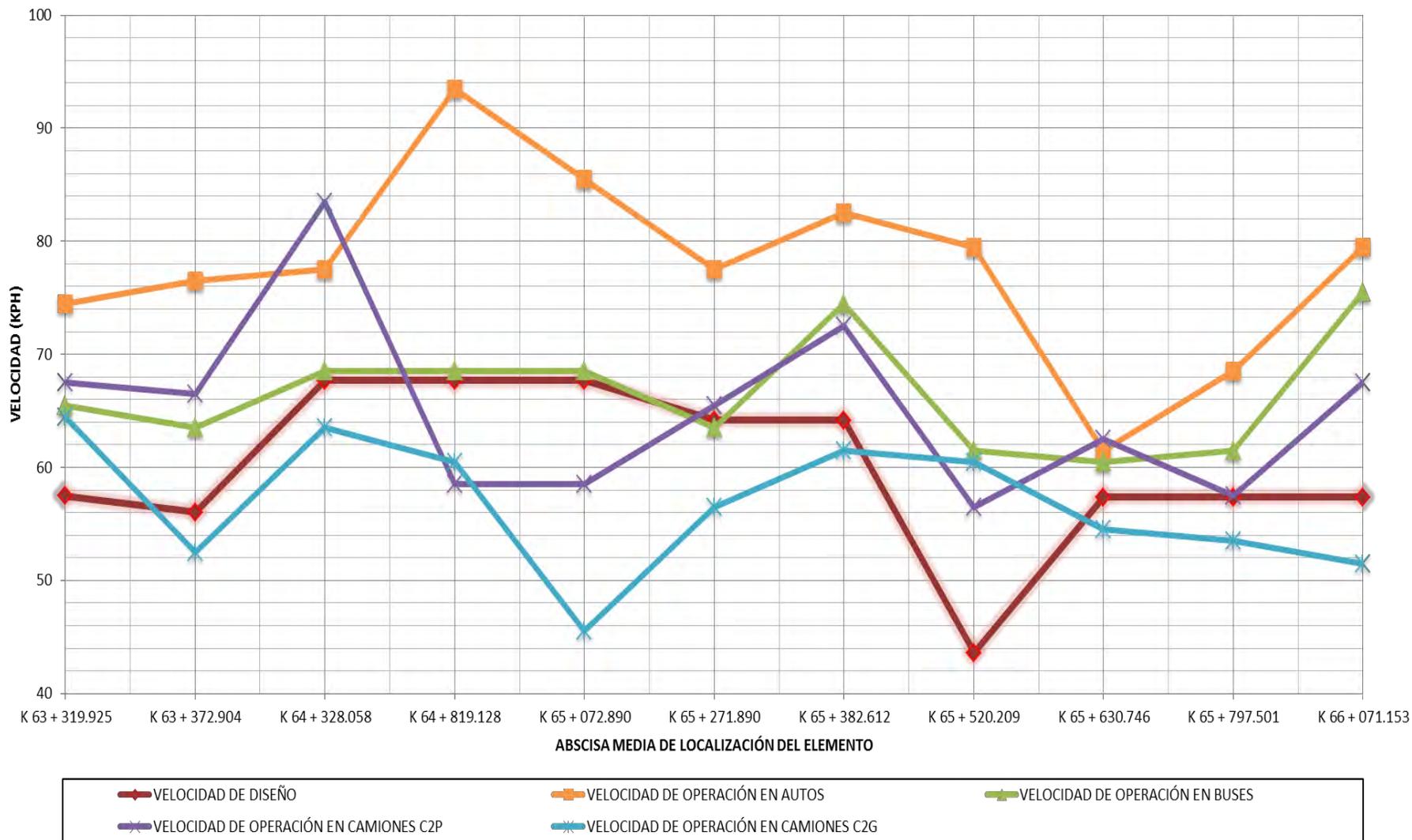
Gráfica 15. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K61+523.016 Y K63+319.925 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



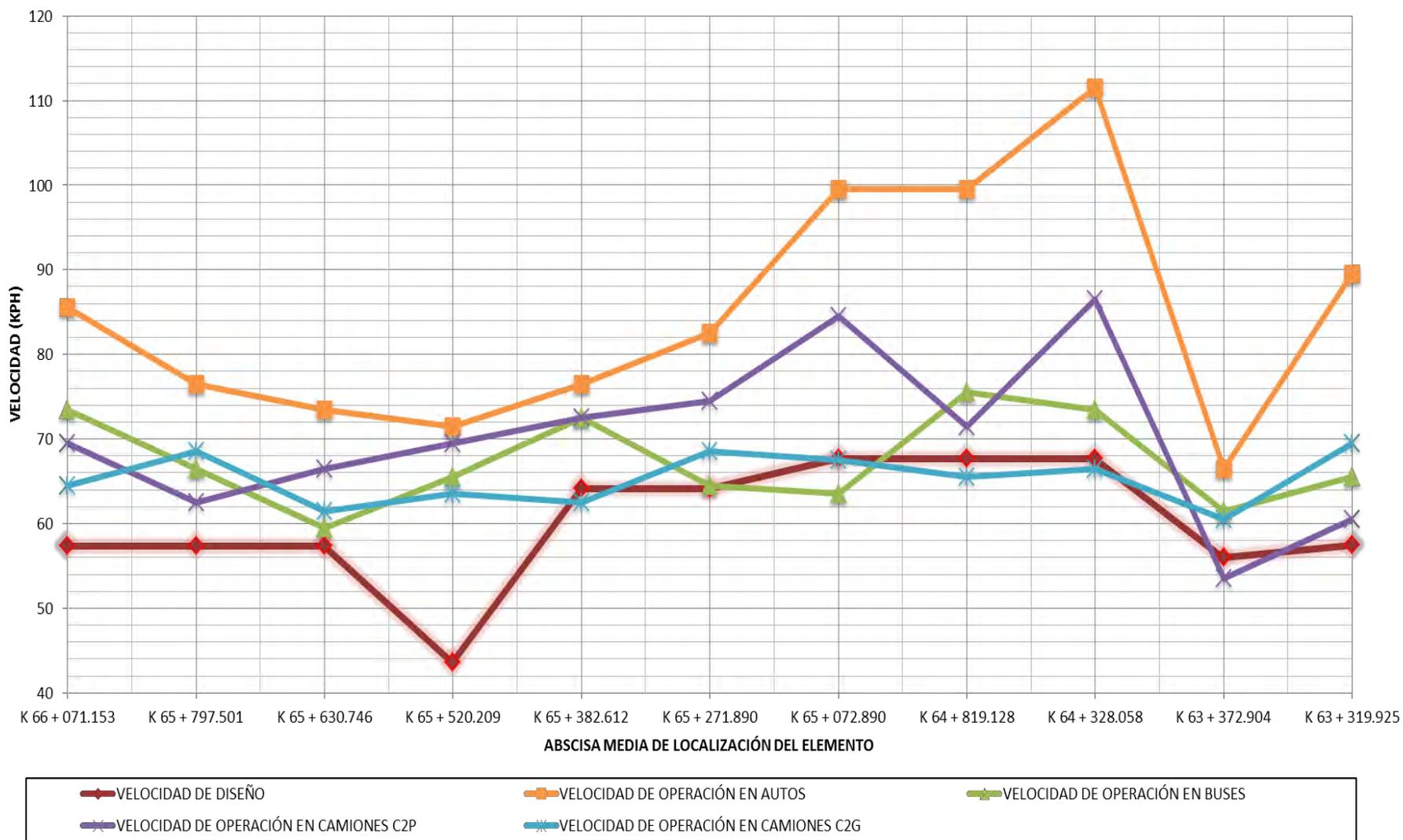
Gráfica 16. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K63+319.925 Y K61+523.016 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



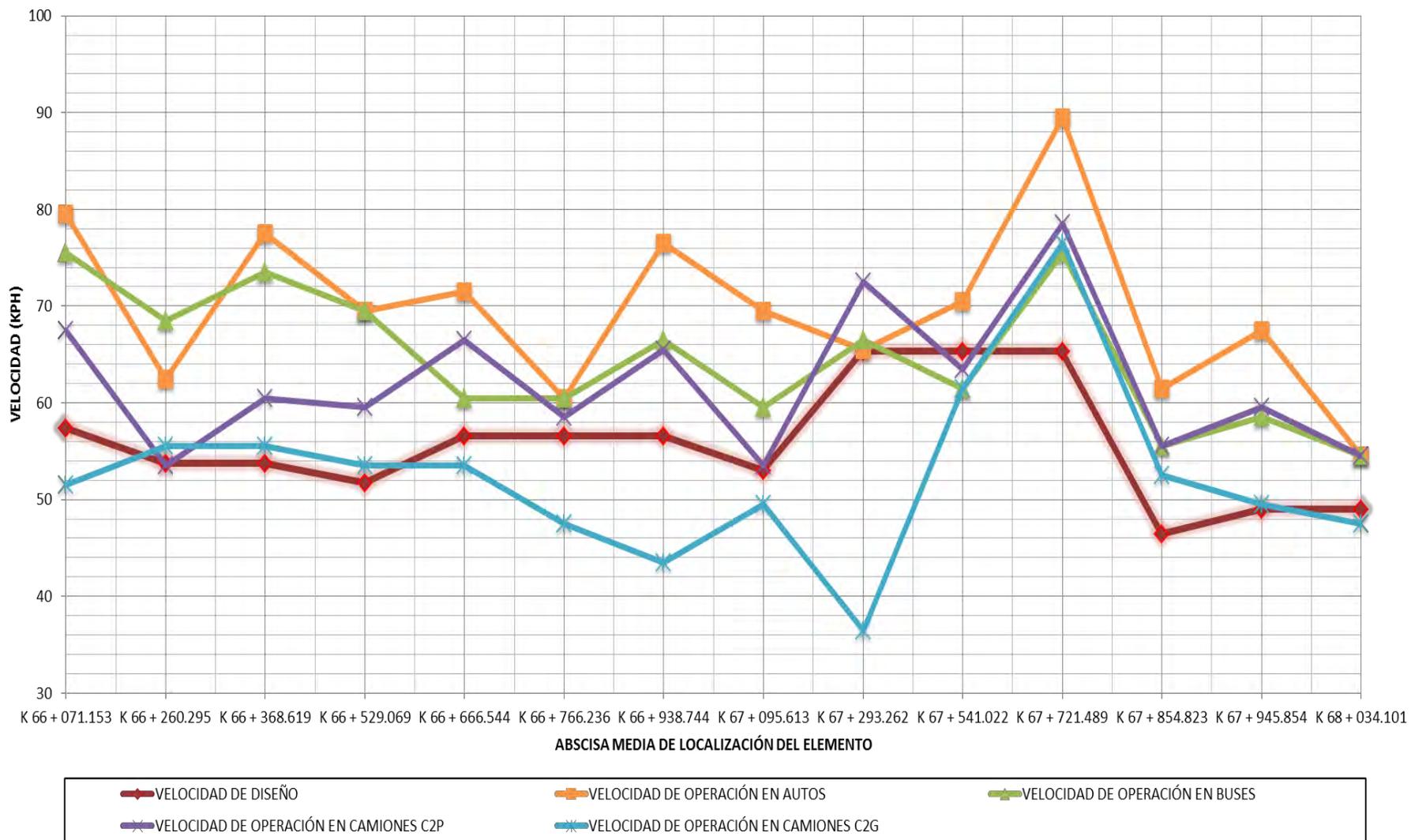
Gráfica 17. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K63+319.925 Y K66+071.153 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



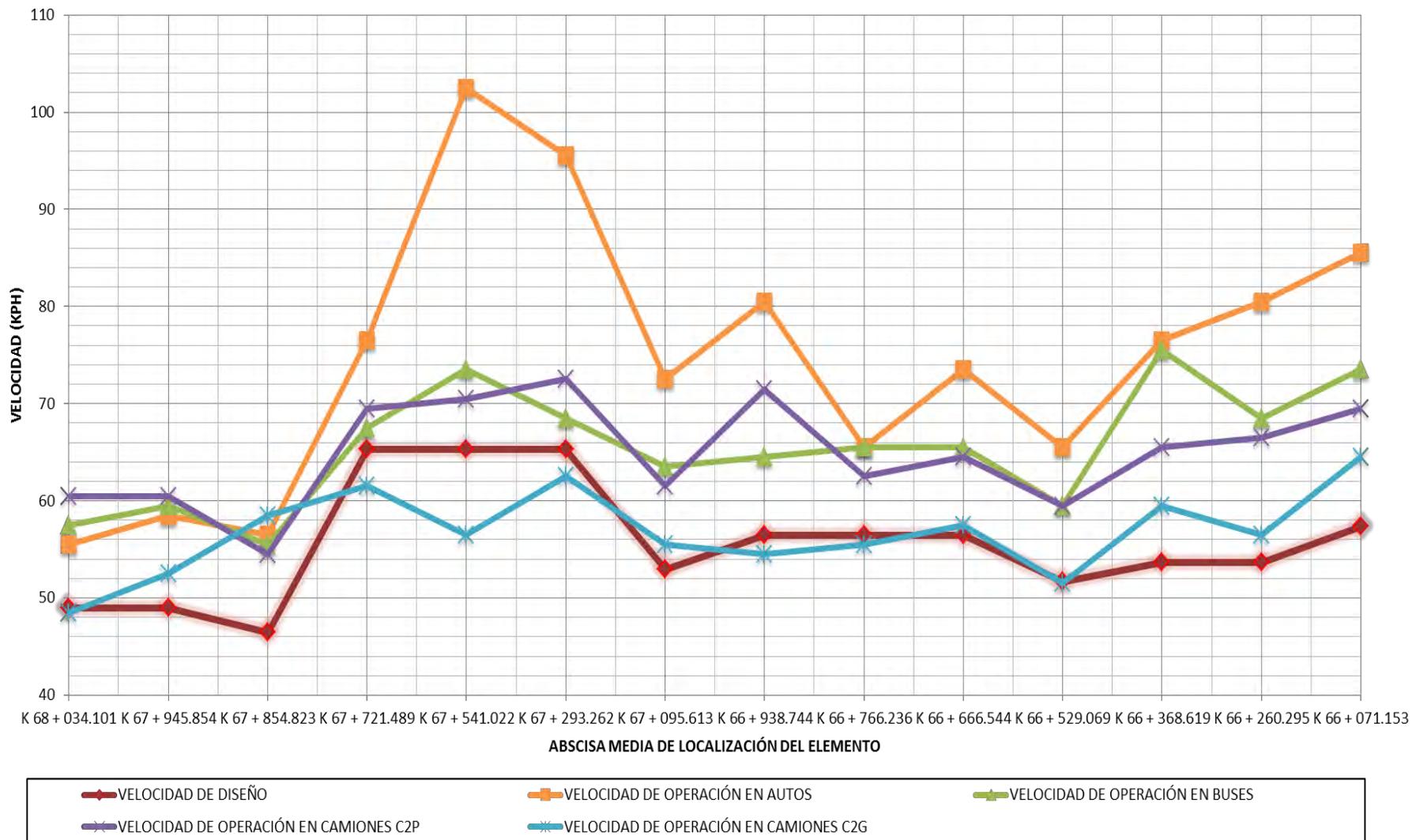
Gráfica 18. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K66+071.153 Y K63+319.925 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



Gráfica 19. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO ASCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K66+071.153 Y K68+034.101 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



Gráfica 20. PERFIL DE VELOCIDAD DE AUTOS, BUSES Y CAMIONES C2P Y C2G EN SENTIDO DESCENSO DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS, COMPRENDIDOS ENTRE LAS ABSCISAS MEDIAS K68+034.101 Y K66+071.153 DE LA VÍA PASTO – IPIALES



4. CONCLUSIONES

La consistencia vial puede interpretarse como la interrelación que existe entre el trazado geométrico de una vía y la comodidad que experimenta el conductor que transita en ésta. En caso de haber una correspondencia entre estos dos aspectos, la conducción puede hacerse de modo cómodo y continuo, lo que incide favorablemente sobre la seguridad vial del sector. En este sentido se han generado las siguientes conclusiones:

En la actualidad se desarrollan análisis de consistencia vial con tecnologías más avanzadas para determinar con mayor precisión el comportamiento de la velocidad en una vía, tal es el caso del uso de GPS que son instalados en los vehículos y monitoreados satelitalmente, estos envían información en tiempos reales con mayor precisión, y generan perfiles de velocidad continuos con datos en todos los puntos de los elementos geométricos, mostrando así los procesos de aceleración y desaceleración; la presente investigación tiene limitaciones en cuanto al instrumento que se utilizó para medición (pistola de radar) de velocidades puntuales. A pesar de no ser tan preciso como otros métodos, permitió hacer una ilustración del comportamiento de los conductores y los factores que afectan las velocidades a lo largo del tramo, con un grado de certeza tal, que permitió ubicar puntos críticos susceptibles de accidentalidad; y esto puede corroborarse al observar que estos puntos coinciden con pequeños radios de curvas después de un tramo relativamente cómodo. Inclusive se puede afirmar que al tratarse de un tramo que no resulta tan cómodo para el conductor, éste se adapta al mismo y puede mantener una velocidad mayor a la de diseño, con cierto nivel de confianza a pesar de la heterogeneidad, y maniobrar el vehículo de manera más ágil pero con un poco de mayor esfuerzo mental y físico, y más aún cuando se trata de camiones C2G, en los cuales se requiere de mayor energía y concentración para mantenerlos estables a través de los elementos del tramo.

Teniendo en cuenta que el trazado de la vía analizada fue desarrollado hace más de treinta años, se puede notar que las velocidades de operación son aceptables a la topografía del terreno y que a pesar de que existen algunos sitios donde la consistencia no es adecuada, el trazado ha permitido que los vehículos se desplacen a velocidades entre 40 y 70 KPH a lo largo del tramo, lo que muestra un trazado relativamente bueno y funcional de acuerdo a las características del terreno.

Para carreteras Primarias y Secundarias el INVIAS establece como peralte máximo ocho por ciento (8%), el cual permite no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores, especialmente a los vehículos con centro de gravedad muy alto y a los vehículos articulados (tracto – camión con remolque) los cuales pueden tener un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con

peraltes muy altos, en este sentido, se puede afirmar que el tramo de vía analizado no cuenta peraltes cómodos y seguros en algunos de sus elementos, especialmente en las curvas que poseen peraltes entre 8 y 10%, como son los elementos No. 93 y 101 (8,8% y 9,2% respectivamente), situación que genera una consistencia pobre por peralte y no por el trazado geométrico.

Los perfiles de velocidad obtenidos por medio de la ubicación cartesiana de la velocidad de diseño y operación respecto a la abscisa de cada elemento en relación a los autos, buses y camiones tipo C2P y C2G analizados, permiten identificar inconsistencias transitorias del trazado geométrico en contextualización de elementos individuales (dificultades geométricas de un solo elemento en particular como pequeños radios y pequeñas tangentes) y consecutivos (transición de un elemento a otro). Estos factores podrán ser empleados en la predicción del comportamiento normal de un conductor en el transcurso de los quince kilómetros analizados, de esta forma se encuentra que la utilidad primordial de los perfiles de velocidad obtenidos radica en la identificación de puntos críticos en seguridad vial ya sea por destacados excesos en velocidad de operación o por la extrema variación de la velocidad de recorrido al transitar de un elemento a otro. En este sentido se podrá proyectar mejoramiento a la señalización (demarcación horizontal y vertical de la vía) de elementos o transiciones entre ellos, como alternativa preventiva en seguridad vial del sector.

Adicionalmente, se pueden emplear los perfiles de velocidad obtenidos como parámetros de predicción para el desarrollo de nuevas vías del sector, entendiéndose que si contamos con el pronóstico del comportamiento del conductor previo trazado vial es posible modificar y/o identificar factores que incomodan a este de una forma perjudicial para su normal recorrido. Esto a pesar de contar con múltiple bibliografía que permite teóricamente predecir el comportamiento de un conductor en una vía a implementar. Siendo más ventajoso el método de aprovechar el conocimiento aplicado obtenido en el presente estudio para simular el comportamiento de los individuos en vías de características topográficas y geométricas similares a la presente, ajustando el perfil de velocidad a un análisis de simulación de recorrido en las categorías vehiculares analizadas.

En el análisis de consistencia obtenido por medio de la elaboración de perfiles de velocidad que demarcan la diferencia existente entre la velocidad de operación y diseño de los elementos geométricos contenidos en el tramo vial analizado, demuestra que, un factor de riesgo para la seguridad vial del sector lo constituye la variación de velocidad de operación y diseño, siendo necesario proponer medidas que contribuyan a garantizar la seguridad vial del sector. Para ello será necesario realizar un estudio más profundo en cuando a variables geométricas y factores externos que existen en la vía, y de esta forma garantizar óptimas medidas de seguridad.

La accidentalidad que se produce en la carretera es uno de los problemas más relevantes, causando muchas víctimas cada año. Para intentar reducir este número y mejorar la seguridad vial es necesario analizar el trazado de las carreteras desde la proyección. Para ello, una de las técnicas más importantes es el análisis de la consistencia, sin embargo, esta tarea es compleja ya que el concepto de consistencia hace referencia fundamentalmente a las características operacionales de la vía y, por tanto, su consideración en la fase de planeamiento y diseño no puede realizarse directamente, sino que es necesario estimar dichas características a partir de ciertas variables disponibles en fase de diseño, casi todas de carácter geométrico. Es por esto que este trabajo constituye un apoyo que permite observar características a tener en cuenta para nuevos proyectos, por ejemplo el diseño geométrico y geografía respecto a las velocidades de operación.

5. RECOMENDACIONES

Implementar de un modelo de evaluación de consistencia vial contextualizado a las características reales de las vías en la región, frente a los percances de seguridad vial que se presentan actualmente y analizando detalladamente los factores que realmente están generando consistencias pobres, y por tanto, puntos de accidentalidad en las vías. Esto permitirá mejorar los trazados de vías existentes y proyección de nueva infraestructura vial contextualizada a las condiciones del terreno, topografía, volúmenes de tránsito, entre otras.

Lograr un análisis de consistencia más preciso se requiere de la evaluación de otros factores como distancias de visibilidad, de frenado, curvas verticales, y no solo del trazado geométrico, ya que se observó que el conductor siempre adoptó velocidades mayores a las de diseño, seguramente porque las condiciones lo hicieron sentir cómodo y seguro; también puede generarse lo contrario, por ejemplo si existe un excelente trazado de una curva y no existe la visibilidad suficiente para continuar con confianza el paso de dicho elemento, el efecto será que el conductor reduzca notablemente la velocidad sin importar que la curva haya permitido velocidades mayores; y así se presentan diferentes condiciones que afectan la confianza del conductor para atravesar el tramo de vía, o por el contrario pueden existir circunstancias que generen mucha confianza en el conductor y que con cualquier cambio brusco del trazado geométrico u otro factor, conformen puntos críticos o inconsistentes, susceptibles de accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Observatorio de Movilidad: Boletín No 2 - Boletín de accidentalidad vial. Bogotá: 2012. 8p.

ECHAVEGUEREN, Tomas. Criterios para el análisis de consistencia del diseño geométrico: Velocidad, Aceleración Y Visibilidad. Argentina / Chile: 2009. 27p.

GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Ingeniería de tránsito y de carreteras: operaciones de tránsito. México 2005. 68p.

GOBIERNO DE MEXICO, SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano Para las Ciudades Medias Mexicanas, Manual Normativo - Tomo XII.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras 2008. Bogotá – Colombia: 2008. 298p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Resolución 339 de 26 de Febrero de 1999. Bogotá – Colombia, 1999.

Modifica Manual de señalización de tránsito estableciendo normas sobre modificación de velocidad. Santiago de Chile. 28 de febrero del 2000

PEREZ, Ana Maria; CAMACHO, Francisco; GARCIA, Alfredo. Cuaderno Tecnológico de la PTC - La Velocidad De Operación y su Aplicación en el Análisis de la Consistencia de Carreteras para la Mejora de la Seguridad Vial. 6 ed. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia, 2011. 64p. ISBN: 968-84-615-3971-0

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD 2011 EXECUTIVE COMMITTEE OFFICERS. Modeling operating speed. Washington: July 2011. 136p.

CIBERGRAFÍA

HYPERPHIPISICS – technical info and calculators for police radar. RADAR GUNS APPROVED in the USA and currently in production

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

Disponible en internet,

<<http://legislacion-oficial.vlex.cl/vid/decreto-manual-estableciendo-velocidad-243832690>>

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, Declaran vía Rumichaca – Pasto - Chachagüi de importancia estratégica, 31 de Octubre de 2005.

Disponible en internet,

<www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2005/octubre/31/11312005.htm>

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

Disponible en internet,

<http://www.saludcolombia.com/actual/salud76/informe.htm>