

**ESTUDIO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y ANALISIS DEL PERFIL DE
VELOCIDADES DEL TRAYECTO RUMICHACA – IPIALES
PR00+000 - PR20+000 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RADAR**

**LUIS JAIME GUERRERO RUALES
JULIO VICENTE ROSERO VELASCO**

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

**ESTUDIO DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y ANALISIS DEL PERFIL DE
VELOCIDADES DEL TRAYECTO RUMICHACA – IPIALES
PR00+000 - PR20+000 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE RADAR**

**LUIS JAIME GUERRERO RUALES
JULIO VICENTE ROSERO VELASCO**

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

**Asesor:
ING. ESP. LUIS ARMANDO MERINO CHAMORRO**

**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 Trabajo de Grado, son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1 del acuerdo N°. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor

Artículo 13° del acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010, emanado por el Honorable Concejo Académico de la Universidad de Nariño”

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado.

Jurado.

Jurado.

San Juan de Pasto, Octubre de 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Jaime Ramiro y Alicia Mercedes gracias por su apoyo incondicional y por su confianza puesta en mí, gracias por todo.

Luis Jaime

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por la vida y la oportunidad, a mis padres Vicente Rosero y Lilia Velasco por su apoyo incondicional que me motivaron a llegar a estas instancias a ellos siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Julio Vicente

RESUMEN

La velocidad de operación es un aspecto muy importante dentro del transporte terrestre puesto que este es un indicador de seguridad, de comodidad y de economía. Debido a lo anterior es importante que esta velocidad deba ser determinada, analizada, regulada y controlada con el fin de garantizar la seguridad para crear un equilibrio entre el conductor, el vehículo y la carretera.

En el presente estudio se desarrolló un trabajo de campo con el propósito de determinar las velocidades de operación en lugares específicos y representativos en cada alineación del Trayecto Rumichaca – Ipiales (San Juan) PR00+000 – PR20+000. La clasificación de vehículos para los cuales se llevó a cabo el estudio corresponde a: Automóviles, buses y camiones C2 se efectuará bajo las condiciones preponderantes tanto de tránsito como climáticas durante la hora de estudio, mediante métodos automáticos como lo es la utilización de pistolas radar. También se llevó a cabo un análisis de consistencia que permitió determinar si la consistencia del tramo vial en estudio es buena, aceptable o pobre.

Los resultados del presente estudio permitieron determinar los factores que afectan las velocidades de operación a lo largo del tramo, permitiendo ubicar puntos críticos susceptibles de accidentalidad y con el análisis de consistencia identificar inconsistencias del trazado geométrico. Por lo tanto la utilidad principal de los perfiles de velocidad obtenidos y del análisis de consistencia realizado es la identificación de puntos críticos en seguridad vial ya sea por excesos en la velocidad de operación o por grandes variaciones de la velocidad al transitar de un elemento a otro.

ABSTRACT

The speed of operation is a very important aspect of land transport as this is an indicator of safety, comfort and economy. Because of this it is important that this speed is to be determined, analyzed, regulated and controlled in order to ensure safety to create a balance between the driver, the vehicle and the road.

In this study, a field work in order to determine operating speeds at specific locations and representative in each alignment of Route Rumichaca - Ipiales (San Juan) PR00+000 - PR20+000. The classification of vehicles which carried out the study is to: Automobiles, buses and trucksC2 will be conducted under the prevailing conditions both transit and weather during the time of study, using automated methods such as the use of guns radar. Also conducted an analysis of consistency allowing to determine whether the consistency study of the road section is good, acceptable or poor.

The results of this study allowed us to determine the factors that affect operating speeds along the stretch, allowing susceptible locate accident hotspots and consistency analysis identify the geometrical layout inconsistencies. Therefore, the primary utility of the velocity profiles obtained and the consistency analysis is conducted to identify critical points in road safety either by excesses in the speed of operation or by large variations in speed to move from one element to another.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1 DEFINICIÓN DE VELOCIDAD	20
1.2 ESTUDIOS DE VELOCIDAD	20
1.2.1 Aplicaciones de los estudios de velocidad.	20
1.2.2 Velocidad de operación.....	21
1.2.3 Estudio de la velocidad de punto (en el sitio).	21
1.2.4 Método del radar.	22
1.2.5 Ubicaciones de sitio para los estudios de velocidad.	22
1.2.6 Hora del día y duración de los estudios de velocidad de punto.	23
1.2.7 Personal y equipo.	23
1.2.8 Tamaño mínimo de la muestra (N).....	23
1.2.8.1 Error permitido en la estimación de la velocidad (E).	24
1.2.8.2 Desviación normal (S).	24
1.2.8.3 Constante de confiabilidad (K).	24
1.2.9 Análisis estadístico de los valores de posición.....	25
1.2.9.1 Media aritmética.	25
1.2.9.2 Mediana.	25
1.2.9.3 Moda.	25
1.2.10 Análisis estadístico de los valores de dispersión:	26
1.2.10.1 Amplitud.	26
1.2.10.2 Desviación estándar (S).	26
1.2.11 Análisis estadístico de los valores de posición y dispersión	26
1.2.11.1 Percentil 85.	26
1.2.11.2 Percentil 15.	27
1.2.12 Otros valores estadísticos	27

1.2.12.1	Velocidad media temporal ($\bar{V}_t$).....	27
1.2.12.2	Velocidad media espacial (V_e).....	27
1.3	LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE CARRETERAS	27
2.	MARCO GEOGRAFICO	29
3.	METODOLOGÍA	30
3.1	REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO	30
3.2	DISEÑO DEL ESTUDIO PROPUESTO	30
3.2.1	Ubicación para el registro de velocidades de punto en campo.	30
3.2.2	Hora y días de estudio.	30
3.2.3	Personal y equipo para el estudio.	31
3.2.4	Tamaño necesario de la muestra para el estudio.	31
3.2.5	Hoja de campo.	32
3.2.6	Toma de mediciones en campo.	32
3.2.7	Cálculo de la desviación estándar para cada alineación, tipo de vehículo y sentido de marcha.....	34
4.	RECURSOS.....	35
4.1	RECURSOS HUMANOS.....	35
4.2	RECURSOS TECNOLÓGICOS	35
5.	PERFIL DE VELOCIDADES DEL TRAYECTO RUMICHACA – IPIALES PR00+000 – PR20+000.....	36
5.1	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL TRAMO DE VÍA.....	36
5.2	VELOCIDAD DE OPERACIÓN	39
5.3	VELOCIDAD DE DISEÑO.....	47
5.3.1	Velocidad específica en curvas horizontales (V_{CH}).....	47
5.3.2	Velocidad específica elemento No. 3	49
5.3.3	Velocidad específica en entretangencias horizontales (V_{ETH}).....	49
5.4	VELOCIDAD DE TRAMO.....	53
6.	PERFILES DE VELOCIDADES	56
7.	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	66

7.1	CRITERIO I.....	66
7.2	CRITERIO II.....	69
8.	DATOS DE ACCIDENTALIDAD RUMICHACA - IPIALES PR0+000 - PR20+000	74
9.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	76
9.1	TRAMO RUMICHACA - IPIALES PR0+200 - PR2+700.....	76
9.2	TRAMO IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974	76
9.3	TRAMO LAS CRUCES – YANALA PR10+974 – PR14+591	77
9.4	TRAMO YANALA – SAN JUAN PR14+591 – PR20+000	77
10.	CONCLUSIONES	78
11.	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Desviaciones normales de velocidades de punto para la determinación del tamaño de la muestra.	24
Cuadro 2. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad	24
Cuadro 3. Número de intervalos de clase por tamaño de muestra.....	25
Cuadro 4. Criterios I y II de Lamm.....	28
Cuadro 5. Ejemplo de formulario de recolección de datos para estudio de determinación de velocidad con pistolas radar.	33
Cuadro 6. Resumen elementos que componen el tramo vial	36
Cuadro 7. Información obtenida de la medición de velocidad de operación para el elemento No. 2.....	40
Cuadro 8. Frecuencias observadas y acumuladas de autos sentido N-S del elemento No. 2	42
Cuadro 9. Frecuencias observadas y acumuladas de buses sentido N-S del elemento No. 2	42
Cuadro 10. Frecuencias observadas y acumuladas de C2 sentido N-S del elemento No. 2	43
Cuadro 11. Velocidades de operación elemento No. 2	43
Cuadro 12. Velocidades de operación.....	44
Cuadro 13. Datos estadísticos del elemento No. 1.....	47
Cuadro 14. Radios (RC) según velocidad específica (VCH) y peraltes (e) para $e_{máx} = 8\%$	48
Cuadro 15. Velocidades específicas de los elementos geométricos.....	50
Cuadro 16. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.	54
Cuadro 17. Análisis de consistencia criterio I de Lamm	66
Cuadro 18. Análisis de consistencia criterio II de Lamm	69
Cuadro 19. Resumen análisis de consistencia.....	73

Cuadro 20. Datos de accidentalidad Rumichaca - San Juan PR0+000 -
PR20+000 del año 2010-2013.....74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre RUMICHACA - IPIALES PR0+200 -PR2+700	56
Figura 2. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974.....	57
Figura 3. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre LAS CRUCES - YANALA PR10+974 - PR14+591	58
Figura 4. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN 14+591 - PR20+000	59
Figura 5. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN 14+591 - PR20+000	60
Figura 6. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre RUMICHACA - IPIALES PR0+200 - PR2+700	61
Figura 7. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974.....	62
Figura 8. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre LAS CRUCES - YANALA PR10+974 - PR14+591	63
Figura 9. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN PR14+591 - PR20+000	64
Figura 10. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN PR14+591 - PR20+000	65

ANEXOS EN MEDIO MAGNETICO

ANEXO A - CONTEO RUMICHACA - IPIALES PR0+200 - PR2+700

ANEXO B - CONTEO IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974

ANEXO C - CONTEO LAS CRUCES - YANALA PR10+974 - PR14+591

ANEXO D - CONTEO YANALA - SAN JUAN PR14+591 - PR20+000

ANEXO E - RESUMEN ANALISIS ESTADISTICO

ANEXO F - PERFILES DE VELOCIDAD DE OPERACION RUMICHACA - SAN JUAN
PR0+000 - PR20+000 SENTIDO N-S

ANEXO G - PERFILES DE VELOCIDAD DE OPERACION RUMICHACA - SAN JUAN
PR0+000 - PR20+000 SENTIDO S-N

ANEXO H - ANALISIS DE CONSISTENCIA RUMICHACA - IPIALES PR0+000 -
PR20+000

ANEXO I - PLANOS PLANTA - PERFIL PR0+000 - PR10+800

ANEXO J - PLANOS PLANTA - PERFIL PR10+800 - PR20+000

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales indicadores para medir la calidad de la operación de un sistema de transporte es la velocidad dado que esta involucra factores como la seguridad, comodidad, tiempo y economía durante el recorrido. El desplazamiento de un lugar a otro es muy importante en la actividad humana y económica, un sistema de transporte eficaz puede ser medido por la calidad del sistema vial y el tiempo utilizado para realizar el recorrido con lo cual la velocidad toma importancia y deba ser determinada, analizada, regulada y controlada con el fin de crear un equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera.

Debido a los anteriores aspectos nació la necesidad de realizar este estudio de campo en el cual se determinó las velocidades de operación en lugares específicos localizados en la longitud media de cada alineación en particular y en cada curva del Trayecto Rumichaca – Ipiales PR00+000 – PR20+000.

Para este estudio se determinaron los puntos representativos y las curvas del trayecto luego se determinó la velocidad a un número de vehículos adecuados para cada categoría mediante el método del radar. Los estudios de velocidad en el sitio se realizaron cuando el tránsito fluía libremente durante las horas no pico. En los puntos representativos del trayecto donde se llevó a cabo el estudio, no existieron inconvenientes en el flujo vehicular y se realizó en cada una de las alineaciones en los dos sentidos de marcha, las características de velocidad identificadas son válidas solamente para las condiciones de tránsito y de medio ambiente que existieron en el momento del estudio.

El estudio de velocidad se realizó para un tamaño suficiente de muestra en cada categoría (automóviles, buses y tipo C2) de forma que los datos recolectados permitieron obtener la velocidad representativa del total de vehículos que circulan por la vía e inferir el límite de velocidad (percentil 85) empleado comúnmente en la mayoría de estudios de tránsito y la realización de análisis estadísticos. Entre mayor sea el tamaño de la muestra es mayor la probabilidad de que la media estimada no sea significativamente diferente de la media verdadera.

La importancia del presente estudio radica en las aplicaciones que este tipo de estudios representan para la ingeniería de tránsito y transporte como lo son el análisis de accidentes, establecer elementos de diseño, planeación de la operación de tránsito, regulación y control, lugares con problemas de velocidad, estudios de investigación que involucren flujos de tránsito, además que permite tener otro criterio para la elección de la velocidad de diseño si se trabaja en proyectos con características similares a este.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Planteamiento del problema:

La velocidad es uno de los factores importantes en el nivel de servicio de una carretera ofreciéndole al conductor seguridad, comodidad y rapidez al transportarse, por tanto es muy importante conocer la velocidad de operación de la misma. Debido al creciente desarrollo económico, a la globalización, a la incursión de nuevas tecnologías en el desarrollo de los sistemas de transporte ha provocado que esta velocidad de operación se haya incrementado por lo cual las condiciones de diseño de la vía para las cuales fueron diseñadas pueden ya no satisfacer las condiciones de transporte actuales y las proyectadas hacia el futuro, lo cual se pretende demostrar con el estudio.

Formulación del problema:

¿Existe información acerca de la velocidad de operación en el trayecto Rumichaca – Ipiales PR00+000 – PR20+000 que sirva como base para estudios de tránsito y la realización de análisis estadísticos futuros para el mejoramiento del nivel de servicio del trayecto?

OBJETIVOS

Objetivo general:

Obtener las velocidades de operación y analizar el perfil de velocidades del trayecto Rumichaca – Ipiales PR00+000 – PR20+000 mediante la utilización de radar.

Objetivos específicos:

- Determinar las tendencias de velocidades de punto para cada categoría de estudio: automóviles, buses y tipo C2 en la longitud media de cada alineamiento en los dos sentidos de marcha.
- Calcular la desviación estándar para cada tipo de vehículo y por cada alineamiento en los dos sentidos de marcha.
- Realizar el análisis estadístico de las mediciones determinadas.
- Analizar el perfil de velocidades en comparación con la normativa colombiana 2008.
- Proporcionar un referente estadístico para futuros proyectos y estudios de tránsito y transporte en dicho trayecto.
- Donar los equipos empleados al Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño luego de la terminación del estudio.

JUSTIFICACIÓN

Existen diversos problemas vinculados con la modalidad del transporte por carretera; estos incluyen accidentes, congestionamientos y demoras. Para reducir la ocurrencia de estos problemas en las carreteras es necesario recolectar información que describa el alcance de los mismos e identifique su ubicación. Esta información se acopia mediante la organización y realización de diferentes estudios tales como estudios de velocidad que sirvan como fuentes de información para estudios de límites de velocidad, zonas de rebase, ubicación de señales de tránsito, siniestralidad y tendencias de velocidad, entre otras.

En el departamento de Nariño no existen estudios actualizados sobre las velocidades de operación en el trayecto Rumichaca – Ipiales PR00+000 – PR20+000; este trayecto hace parte de la Vía Panamericana que es de vital importancia económica, social, cultural y políticamente por lo tanto es importante que se lleve a cabo dicho estudio para atender las demandas actuales y futuras de tránsito, desarrollo tecnológico, seguridad, comercio y progreso de la región en general.

ANTECEDENTES

Se han llevado a cabo estudios recientes de velocidad de operación similares al presente, en algunos tramos o sectores específicos de la Vía Panamericana o Ruta Nacional 25 que hace parte del corredor vial Nacional de Colombia que parte del Puente de Rumichaca en la Frontera con Ecuador.

En el departamento de Nariño en el año 2013 se realizó por parte de Camilo Andrés Mora y Cesar Andrés Oliva un estudio sobre velocidad de operación denominado “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”; donde uno de los objetivos era determinar la velocidad que adopta el 85% de los conductores o velocidad de operación para detallar el perfil de velocidades a lo largo del tramo vial utilizando el método del radar.

En el departamento del Tolima, el ingeniero Édgar Ramiro Jiménez Pérez, realizó en Marzo de 2007 un estudio sobre la velocidad puntual en la avenida Ambalá entre las calles 67 y 69 en la ciudad de Ibagué donde el objetivo principal era determinar la velocidad que adopta el 85% de los conductores utilizando métodos manuales. La metodología de estudio era cronometrar el tiempo que se demora un vehículo en recorrer una distancia determinada para una cantidad de vehículos suficiente para determinar una velocidad representativa de todos los vehículos, por lo tanto se escogió 191 vehículos como tamaño de la muestra para un nivel de confianza estadística del 95%. Los resultados del estudio mostraron una velocidad máxima de 56 km/h, una velocidad mínima de 20km/h, una velocidad media de

38,07 km/h, un límite de velocidad (percentil 85) de 43,9 km/h. El estudio demostró que el 90% de los conductores circulaban al límite de velocidad del tramo (43,9 km/h), sin embargo por tratarse de una zona escolar según el código de tránsito ese límite debe estar en 30 km/h, el cual solo es respetado por el 22% de los conductores^[1].

La normatividad colombiana, según la ley 1239 de 2008 para la velocidad de operación en las carreteras resuelve:

ARTÍCULO 1o. El artículo 106 del Código Nacional de Tránsito quedará así:

“Artículo 106. Límites de velocidad en vías urbanas y carreteras municipales. En las vías urbanas las velocidades máximas y mínimas para vehículos de servicio público o particular será determinada y debidamente señalizada por la autoridad de tránsito competente en el distrito o municipio respectivo. En ningún caso podrá sobrepasar los 80 kilómetros por hora.

El límite de velocidad para los vehículos de servicio público, de carga y de transporte escolar, será de sesenta (60) kilómetros por hora. La velocidad en zonas escolares y en zonas residenciales será hasta de treinta (30) kilómetros por hora”.

ARTÍCULO 2o. El artículo 107 del Código Nacional de Tránsito quedará así:

“Artículo 107. Límites de velocidad en carreteras nacionales y departamentales. En las carreteras nacionales y departamentales las velocidades autorizadas para vehículos públicos o privados, serán determinadas por el Ministerio de Transporte o la Gobernación, según sea el caso teniendo en cuenta las especificaciones de la vía. En ningún caso podrá sobrepasar los 120 kilómetros por hora.

Para el servicio público, de carga y de transporte escolar el límite de velocidad en ningún caso podrá exceder los ochenta (80) kilómetros por hora. Será obligación de las autoridades mencionadas, la debida señalización de estas restricciones.

^[1] JIMENEZ PEREZ, Edgar Ramiro. Estudio sobre Velocidad Puntual Av. Ambalá entre Calles 67 y 69. Tesis Especialización en Vías y Transporte. Departamento de Ingeniería Civil. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 2007.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DEFINICIÓN DE VELOCIDAD

La velocidad ha sido un deseo humano desde que el hombre invento los medios de transporte. Se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo en que tarda en recorrerlo, o sea una relación de movimiento. La velocidad está bajo el control del conductor y su uso determina la distancia recorrida, el tiempo usado en el recorrido y ahorro de tiempo, según la variación de velocidad^[2].

1.2 ESTUDIOS DE VELOCIDAD

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde este punto de vista, para medir la calidad del movimiento del tránsito se utilizan la velocidad de punto, en sus dos componentes media temporal y media espacial; la velocidad de recorrido y la velocidad de marcha^[3].

1.2.1 Aplicaciones de los estudios de velocidad. Algunas aplicaciones de los estudios de velocidad en los campos de la ingeniería de tránsito y afines, son:

- Obtener tendencias de velocidades que pueden ser específicas por tipo de vehículo.
- Detectar problemas de velocidad (altas o bajas).
- Planear el tránsito, su operación, regulación y control.
- Efectuar análisis de accidentalidad relacionada con la velocidad.
- Realizar estudios tales como: nivel de servicio, análisis diferencial de velocidades, influencia en la velocidad provocada por obstrucciones laterales o distracciones, flujo vehicular y otros.
- Evaluar la eficiencia de una ruta con respecto al movimiento de la corriente vehicular.
- Calcular los costos de operación vehicular y del usuario.

^[2]ARBOLEDA VELEZ, Carlos y RIVAS MUÑOZ, Nelson. Conferencias de Ingeniería de tránsito. Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Vías y Transporte. Popayán: Universidad del Cauca, 2005.

^[3]REYES SPÍNDOLA, Rafael y CÁRDENAS G, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. 7ª ed. México, D.F: Alfaomega, 2000.

- Planear el transporte mediante la aplicación de modelos de asignación y/o distribución de viajes y rutas.
- Estimar la calidad de los controles del tránsito en las intersecciones y en carriles específicos^[4].

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

1.2.3 Estudio de la velocidad de punto (en el sitio). 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 de estudio. Las características de velocidad que se determinen en el sitio pueden usarse para:

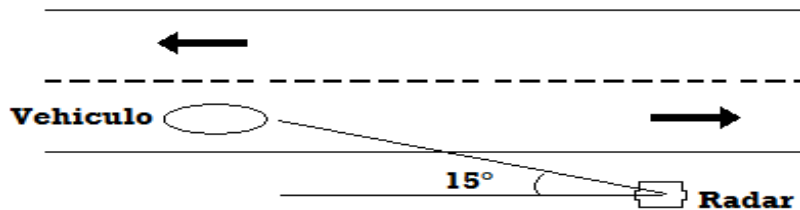
- Establecer parámetros para la operación y el control de tránsito, tales como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control de tránsito. Tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas de trabajo.
- Verificar el efecto de los programas en vigor que monitorean de la velocidad, tales como el uso del radar sonoro y de límites diferenciados de velocidad para automóviles y camiones.
- Evaluar y/o determinar lo adecuado de las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.
- 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 velocidad.
- Determinar si son válidas las quejas acerca de incidentes de exceso de velocidad^[5].

⁴ARBOLEDA VELEZ y RIVAS MUÑOZ, Op. Cit., p.60

⁵GARBER, Nicholas J y HOEL, Lester A. Ingeniería de Tránsito y Carreteras. 3ª ed. México, D.F: s.n. 2005.

1.2.4 Método del radar. La medición de velocidad aplicando instrumentos de radar son los más utilizados actualmente. Se trata de un equipo accionado por batería, que se basa en el principio fundamental de que la onda de radio reflejada por un objeto en movimiento experimenta una variación en su frecuencia que es función de la velocidad del objeto lo que se conoce como el principio de Doppler, midiendo el cambio de frecuencia es posible determinar la velocidad del objeto que la refleja. Los medidores de radar se montan sobre un trípode o manualmente, su uso es muy sencillo, basta apuntar hacia el vehículo escogido, leer la velocidad directamente en la pantalla y anotarlo. La velocidad aparece en kilómetros por hora o millas por hora.

La velocidad que miden estos equipos es la del vehículo con respecto al medidor, esta resulta menor que la que lleva el vehículo con respecto a la vía. Esto sucede porque la distancia recorrida por el vehículo a lo largo de la vía es menor que el cambio correspondiente en la distancia de este al medidor. Para corregir este error habría que dividir la velocidad medida entre el coseno del ángulo de incidencia o sea el que forma la visual del medidor con respecto a la trayectoria del vehículo. Esto no es fácil porque para que el ángulo no cambie se debe mantener fijo el instrumento. Sin embargo, cuando el ángulo es menor de 15 grados los errores introducidos son despreciables^[6].



1.2.5 Ubicaciones de sitio para los estudios de velocidad. Los estudios de velocidad de punto se efectúan en lugares especiales o generales. Las ubicaciones especiales son elegidas para establecer límites de velocidad de tramos específicos de calles o carreteras, para evaluar mejoras en el tránsito y para estudiar lugares de accidentes. Los estudios de velocidades de punto se realizan en lugares especiales, para estudios de investigación o para evaluar relaciones entre la velocidad y los diversos factores que influyen en la velocidad de punto como son: el conductor, el vehículo, el camino, el tránsito y las condiciones atmosféricas. En general, se emplean las siguientes ubicaciones:

- En intersecciones y otros puntos a mitad de la cuadra, que registran alta frecuencia de accidentes.
- En puntos donde se propone la instalación de señales de tránsito.
- En todas las arterias principales.
- En puntos representativos escogidos para el estudio de datos básicos.

⁶ARBOLEDA VELEZ y RIVAS MUÑOZ, Op. Cit., p.60

1.2.6 Hora del día y duración de los estudios de velocidad de punto. La hora del día para realizar un estudio de velocidad depende del propósito del estudio. Si la finalidad del estudio es establecer límites de velocidad visibles, observar tendencias de velocidad, o recolectar datos básicos, se recomienda que sea realizado cuando el tránsito está fluyendo libremente durante las horas no pico y en condiciones normales atmosféricas. Sin embargo, cuando se realiza un estudio de velocidad como respuesta a las quejas de los usuarios, éste es útil si el periodo de tiempo seleccionado para el estudio refleja la naturaleza de las quejas. La duración del estudio deberá ser tal que registre el número mínimo de registros requeridos para el análisis estadístico. Comúnmente, es de una hora y el tamaño de la muestra de al menos 30 vehículos^[7].

1.2.7 Personal y equipo. Los datos de velocidad pueden recopilarse por métodos manuales o automáticos dependiendo del equipo que se disponga. Con el método automático se emplean dispositivos eléctricos y/o mecánicos, para medir las velocidades de los vehículos al pasar. El radar es el dispositivo automático comúnmente empleado para medir velocidades de punto^[8].

1.2.8 Tamaño mínimo de la muestra (N). Se usa la velocidad media calculada (o promedio) para representar el valor medio verdadero de todas las velocidades de los vehículos en ese lugar. La exactitud de esta suposición depende del número de vehículos en la muestra. Entre mayor sea el tamaño de la muestra, es mayor la probabilidad de que la media estimada no sea significativamente diferente de la media verdadera. Por lo tanto, es necesario seleccionar un tamaño de muestra que dé una media estimada dentro de límites aceptables de error. Se usan procedimientos estadísticos para determinar el tamaño mínimo de la muestra, el tamaño de la muestra a tomar se establece por la ecuación:

$$N = \left(\frac{K * S}{E} \right)^2$$

N: Tamaño mínimo de la muestra (cantidad de vehículos)

S: Desviación estándar estimada de la muestra

K: Constante correspondiente a un nivel de confianza deseado

E: Error permitido en la estimación de la velocidad

⁷GARBER, y HOEL, Op. Cit., p. 50.

⁸BOX, Paul C y OPPENLANDER, Joseph C. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. 4ª ed. México, D.F: s.n. 1985.

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

1.2.8.2 Desviación normal (S). Si no existen estudios referentes a la determinación de la desviación normal de las velocidades de punto del lugar en estudio, se puede obtener un valor estimado del siguiente cuadro de acuerdo con el tipo de tránsito y el tipo de camino o vía (ver cuadro 1).

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

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

1.2.8.3 Constante de confiabilidad (K). Por lo general se emplea un valor de $K = 2.00$ para un nivel de confiabilidad del 95.5%, su valor determina la probabilidad que la velocidad media, sea una estimación válida (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad

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

1.2.8.4 Número de intervalos de clase por tamaño de muestra (M). Para analizar datos, estos deben ser organizados en valores de magnitud similar en intervalos de clase, que dependen de la cantidad de datos o del tamaño de la muestra (ver cuadro 3).

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

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

1.2.9 Análisis estadístico de los valores de posición:

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

$$\tilde{V} = \frac{\sum Vi \cdot fi}{N}$$

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

Vi : Velocidad del punto medio del intervalo de clase.

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

N : Tamaño de la muestra.

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

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

1.2.10 Análisis estadístico de los valores de dispersión:

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

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum (v_j - \bar{v})^2}{N - 1}}$$

S: Desviación estándar

$\bar{v}$: Velocidad media temporal.

v_j : Velocidad de la j-ésima observación

N: Tamaño de la muestra.

Es frecuente que los datos de velocidad se presenten como categorías en las cuales cada una consta de un rango de velocidades. Para estos casos la desviación estándar, se calcula como:

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

S: Desviación estándar

$\bar{v}$: Velocidad media temporal.

f_i : frecuencia de velocidad de la clase i

V_i : Valor medio de velocidad de la clase i

N: Tamaño de la muestra.

1.2.11 Análisis estadístico de los valores de posición y dispersión:

1.2.11.1 Percentil 85. Es el valor de la velocidad en el sitio, por debajo del cual viaja el 85 % de los vehículos.

1.2.11.2 Percentil 15. Es el valor de la velocidad en el sitio, por encima del cual viaja el 15 % de los vehículos.

1.2.12 Otros valores estadísticos:

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

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

1.2.12.2 Velocidad media espacial (V_e). Corresponde a la media armónica de las velocidades instantáneas, es decir la media de las velocidades de los vehículos que se encuentran en un tramo en un momento dado. La velocidad media espacial es preferible a la media temporal porque guarda mayor relación con otros parámetros del tránsito^[9].

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

1.3 LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE CARRETERAS

Lamm et al. (1995) establecieron tres criterios para determinar la consistencia del diseño geométrico de carreteras. Todos ellos están basados en el análisis de la velocidad a la que circulan los conductores, siendo el criterio II el más ampliamente utilizado. 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.

Estos umbrales fueron establecidos, además, basándose en un análisis de la siniestralidad. La diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño $|V_{85} - V_d|$ es un buen indicador de la inconsistencia en un elemento singular, mientras que la reducción de velocidad entre elementos sucesivos (Δv_{85})

⁹JIMENEZ PEREZ, Op. Cit.

indica la inconsistencia experimentada por los conductores que circulan desde un elemento al siguiente. En la cuadro 4, se resumen los umbrales empleados en los Criterios I y II de Lamm¹⁰.

Cuadro 4. Criterios I y II de Lamm

Nivel de Consistencia	Criterio I (km/h)	Criterio II (km/h)
Buena	$ 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$

¹⁰ PEREZ ZURIAGA, Ana, et al. 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. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2011.

2. MARCO GEOGRAFICO

La Ruta Nacional 25 o comúnmente llamada Troncal Occidental hace parte del corredor vial Nacional de Colombia que parte del Puente de 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 Pacífico.^[11]

^[11] Ministerio del Transporte Resolución 339 del 26 de Febrero de 1999.

3. METODOLOGÍA

Las etapas que se desarrollaron para la realización del presente estudio fueron:

3.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO

La implementación de esta etapa tuvo como objetivo la recopilación bibliográfica del proyecto, luego dicha documentación fue estudiada y analizada con el propósito de destacar los aspectos más relevantes para la elaboración del marco teórico del presente estudio.

Además, en esta etapa se eligió los distintos desarrollos investigativos a seguir (ecuaciones, tablas, gráficos existentes), acordes a las solicitudes del proyecto que permitieron el establecimiento de los factores y requerimientos principales en el estudio de velocidades de punto.

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO PROPUESTO

3.2.1 Ubicación para el registro de velocidades de punto en campo. El estudio se llevó a cabo en cada uno de los elementos en los dos sentidos del trayecto Rumichaca – Ipiales PR00+000 – PR20+000, específicamente en la longitud media de las entretangencias y en la tercera parte de las curvas del tramo. También se hizo necesario llevar a cabo más de un muestreo o toma de velocidades en algunas entretangencias donde su longitud sobrepasaba los 400 m, existían intersecciones o algún otro aspecto que interrumpía el flujo normal de los vehículos, puesto que se presentaban grandes variaciones de velocidades dentro del mismo elemento y eran necesario registrarlas en el estudio. Estas mediciones realizadas representan las condiciones de flujo libre de tránsito, dado que sólo se tuvo en cuenta el primer vehículo de un pelotón y se descartaron aquellos vehículos con muy altas y muy bajas velocidades en comparación con las normalmente registradas durante el estudio.

3.2.2 Hora y días de estudio. La hora en que se llevó a cabo el estudio de velocidad de punto corresponden a los rangos horarios: 7:00am – 12:00M y 2:00pm – 6:00pm, durante los días: Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes y Sábados de manera continua. Se excluyeron los días Domingos y Festivos. Bajo ningún motivo se realizaron mediciones en condiciones de lluvia.

3.2.3 Personal y equipo para el estudio. Las personas encargadas del registro de datos fueron los autores del presente estudio bajo la asesoría y dirección del Ing. Esp. Luis Armando Merino. Se seleccionó el método automático determinado por la Pistola Radar Genesis Handheld Directional transmisión de radar con una frecuencia de 24.150 GHz (24150000000 Hz), utilizando un transmisor en banda-K. El receptor está diseñado para leer la frecuencia Doppler (el cambio en la frecuencia) entre 360 Hz y poco más de 43 kHz, al igual que equipo de seguridad básico como chaleco reflectivo y casco.

3.2.4 Tamaño necesario de la muestra para el estudio. La velocidad puntual para determinada ubicación se obtiene normalmente a partir de una muestra de al menos 50 o preferiblemente 100 vehículos ^[12]. Dada esta condición y con el propósito de obtener un mayor número de intervalos de clase para una mejor diferenciación de los rangos de velocidades, se estimó un número de 69 vehículos de la siguiente manera:

De la ecuación (1), se tiene:
$$N = \left(\frac{K * S}{E} \right)^2$$

S= 8.5 km/h Tipo de tránsito: rural. Tipo de camino: dos carriles. Cuadro 1.
 K= 1.96 Nivel de confiabilidad: 95%. Cuadro 2.
 E= 2 km/h Error permitido entre ±8.0 km/h a ±1.5 km/h

$$N = \left(\frac{1.96 * 8.5}{2} \right)^2 = 69.38 \cong 69 \text{ Vehículos}$$

Los valores anteriormente seleccionados atienden a razones de practicidad y correlación con respecto a la literatura estudiada, puesto que cuanto mayor sea la muestra seleccionada, mayor es la validez y la representatividad del presente estudio.

^[12] EWING, R. Traffic Calming Impacts. In Traffic Calming: State and Practice. Washington, D.C:Institute of Transportation Engineers, 1999.

3.2.5 Hoja de campo. Los datos se consignaron en la cuadro 5, el observador registró la fecha, la locación, límite de velocidad, condiciones climáticas, hora de inicio, hora de finalización y tiempo inactivo. Además, el registro se realizó para un número de 69 vehículos por cada clasificación, en cada ubicación por cada sentido de marcha. El número de automóviles, camiones y autobuses, que transitan a la misma velocidad, se determinó sumando horizontalmente el número de rayas registradas (cada una corresponde a un vehículo). Así mismo, la suma vertical de cualquier tipo de vehículo corresponde al número total de observaciones para ese tipo en particular. Se empleó una hoja de campo o una columna diferente para cada dirección de recorrido.

3.2.6 Toma de mediciones en campo. Para la ejecución del trabajo de campo se siguieron los procesos de muestreo mostrados a continuación:

- El investigador debe marcar con claridad el sitio de observación.
- La ubicación de la pistola radar deberá seleccionarse, en tal forma de minimizar el error del coseno del ángulo entre la trayectoria del vehículo y la línea del aparato al vehículo ya que el error se reduce al hacer que este ángulo se aproxime a cero.
- Observar siempre el primer vehículo en la caravana, dado que los siguientes vehículos pueden estar circulando a la velocidad del vehículo guía, que no puede ser rebasado en el momento de la medición.
- Evitar muestrear una gran proporción de vehículos con alta velocidad.
- Si el observador no puede registrar la velocidad de todos los vehículos en una dirección, debido al gran volumen de tránsito; entonces pueden usarse diversos métodos de muestreo. Cada segundo, tercer, o enésimo vehículo, pueden ser escogidos para la medición de la velocidad.
- Registrar todos los datos en la hoja de campo (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Ejemplo de formulario de recolección de datos para estudio de determinación de velocidad con pistolas radar.

Fecha: DD/MM/AAAA			Hora de inicio: 0700		
Nombre: John Doe			Hora de finalización: 0725		
Lugar: calle 6ta y Main Street			Tiempo de inactividad: ninguno		
Límite de velocidad: 35 mph			Clima: despejado		

Velocidad	Automoviles		Buses		Camiones		Total
	Registro	No.	Registro	No.	Registro	No.	
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21		2					2
22						1	1
23		1				2	3
24		4					4
25		1					1
26		3					3
27		2				1	3
28		2					2
29	 	5		2			7
30		2				1	3
31		3					3
32	 	5					5
33		3					3
34		3		1		1	5
35	 	6				2	8
36	 	6					6
37	 	6				2	8
38		4					4
39	 	6					6
40		4					4
41	 	5				2	7
42		3					3
43		2					2
44		4					4
45		2					2
46							
47		1					1
48							
49							
50							
Total							100

3.2.7 Cálculo de la desviación estándar para cada alineación, tipo de vehículo y sentido de marcha. Como ya se mencionó, uno de los objetivos específicos de este estudio es la determinación de la desviación estándar tanto para cada alineación como para la del trayecto en general, cuyo propósito es atender a solicitudes específicas para nuestra geografía y tipos de vehículos, diferentes a los de otras locaciones de las que usualmente se adopta valores sin tener en cuenta las singularidades que caracterizan los estudios de otras latitudes. Basados en lo anterior, se estará sujetos a la validez de la desviación estándar utilizada indiscriminadamente por muchos autores y estudios en nuestro país.

Para determinarla se empleó la ecuación del numeral 1.2.10.2, el procedimiento se repitió para cada tipo de vehículo, para cada velocidad puntual y en los dos sentidos de marcha. Posteriormente, se determinó la media aritmética de dichos valores.

4. RECURSOS

4.1 RECURSOS HUMANOS

Las personas encargadas de la toma y registro de datos fueron los autores del estudio Luis Jaime Guerrero Ruales y Julio Vicente Rosero Velasco, bajo la asesoría y dirección del Ing. Esp. Luis Armando Merino. Para realizar la toma y registro de datos los encargados utilizaron el equipo de seguridad básico como chaleco reflectivo y casco.

4.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Se seleccionó el método automático determinado por la Pistola Genesis Handheld Directional transmisión de radar con una frecuencia de 24.150 GHz (24150000000 Hz), utilizando un transmisor en banda-K. El receptor está diseñado para leer la frecuencia Doppler (el cambio en la frecuencia) entre 360 Hz y poco más de 43 kHz.

5. PERFIL DE VELOCIDADES DEL TRAYECTO RUMICHACA – IPIALES PR00+000 – PR20+000

5.1 DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL TRAMO DE VÍA

Se identificaron y describieron cada uno de los elementos contenidos en el tramo vial, como curvas y tangentes; como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resumen elementos que componen el tramo vial

No.	ELEMENTO	S	R(m)	e(%)	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	LONGITUD (Lc)	PENDIENTE (%)
2	T				PR0+249.362	PR0+440.557	240.557	7,079
3	C	I	165,38	6,2	PR0+440.557	PR0+527.194	86.617	7,079
4	T				PR0+527.194	PR0+870.47	343.276	3,294
5	C	D	100,12	7,6	PR0+870.47	PR0+957.218	86.748	3,294
6	T				PR0+957.218	PR1+094.606	137.388	5,27
7	C	I	135,02	6,8	PR1+094.606	PR1+184.785	90.179	5,27
8	T				PR1+184.785	PR1+555.188	370.403	5,27
9	C	D	406,97	3,6	PR1+555.188	PR1+615.349	60.161	7,371
10	T				PR1+615.349	PR2+025.431	410.082	7,371
11	C	D	89,81	7,8	PR2+025.431	PR2+113.265	87.834	7,371
12	T				PR2+113.265	PR2+279.553	166.288	7,371
13	C	I	100,19	7,6	PR2+279.553	PR2+392.36	112.807	-6,338
14	T				PR2+392.36	PR2+843.878	337,64	-6,338
15	C	I	169,55	6,2	PR2+843.878	PR2+897.42	53.542	6,008
16	T				PR2+897.42	PR2+951.682	54.262	6,008
17	C	D	82,54	8	PR2+951.682	PR2+969.91	18.228	6,008
18	T				PR2+969.91	PR3+358.428	388.518	0,281
19	C	D	165,19	6,2	PR3+358.428	PR3+551.755	193.327	-2,131
20	T				PR3+551.755	PR6+911.593	3359,838	-2,707
21	C	D	3046,28	2,5	PR6+911.593	PR7+077.294	165,706	-0,078
22	T				PR7+077.294	PR7+151.862	74,568	-0,078
23	C	I	191,65	5,8	PR7+151.862	PR7+298.323	146.461	-0,078
24	T				PR7+298.323	PR8+688.341	1390	-0,078
25	C	D	142,71	6,6	PR8+688.341	PR8+736.231	47,89	-3,303

Continuación cuadro 6.

26	T				PR8+736.231	PR9+364.13	627.899	-3,303
27	C	I	158,14	6,4	PR9+364.13	PR9+484.414	120.284	-3,303
28	T				PR9+484.414	PR10+900.636	1416,222	0.942
29	C	I	266,46	4,8	PR10+900.636	PR10+973.685	73.049	-7,24
30	T				PR10+973.685	PR11+496.748	523.063	-3,845
31	C	I	292,16	4,6	PR11+496.748	PR11+613.505	116.757	-6,743
32	T				PR11+613.505	PR11+811.737	198.232	-6,743
33	C	D	99,68	7,6	PR11+811.737	PR11+933.481	121.744	-6,743
34	T				PR11+933.481	PR12+043.899	110.418	-6,743
35	C	I	120,5	7,2	PR12+043.899	PR12+162.898	118.999	-6,743
36	T				PR12+162.898	PR12+507.887	344.989	-6,743
37	C	D	146,23	6,6	PR12+507.887	PR12+598.434	90.547	-6,743
38	T				PR12+598.434	PR12+982.516	384.082	-6,743
39	C	D	536,65	3	PR12+982.516	PR13+049.779	67.263	-6,743
40	T				PR13+049.779	PR13+180.07	130.291	-6,743
41	C	D	98,99	7,6	PR13+180.07	PR13+246.546	66.476	-6,743
42	T				PR13+246.546	PR13+292.43	45.884	-6,743
43	C	I	82,57	8	PR13+292.43	PR13+363.93	71.5	-6,743
44	T				PR13+363.93	PR13+434.239	70.309	-6,743
45	C	D	161,18	6,2	PR13+434.239	PR13+486.371	52.132	-6,743
46	T				PR13+486.371	PR13+585.05	98.679	-6,743
47	C	I	200,09	5,6	PR13+585.05	PR13+649.648	64.598	-6,743
48	T				PR13+649.648	PR13+732.01	82.362	-6,743
49	C	D	256,99	5	PR13+732.01	PR13+801.431	69.422	-6,743
50	T				PR13+801.431	PR14+323.76	522.329	-6,743
51	C	D	191,75	5,8	PR14+323.76	PR14+405.521	81.761	-6,743
52	T				PR14+405.521	PR14+475.504	69.983	-1,565
53	C	I	152,67	6,4	PR14+475.504	PR14+591.303	115.799	-1,565
54	T				PR14+591.303	PR14+750.238	158.935	-7,104
55	C	D	101	7,6	PR14+750.238	PR14+832.646	82.408	-7,104
56	T				PR14+832.646	PR14+891.757	59.111	-7,104
57	C	I	54,67	8	PR14+891.757	PR14+940.905	49.148	-7,104
58	T				PR14+940.905	PR15+052.159	111.254	-7,104
59	C	D	61,97	8	PR15+052.159	PR15+149.197	97.038	-7,104
60	T				PR15+149.197	PR15+178.721	29.524	-7,104
61	C	I	66,11	8	PR15+178.721	PR15+263.165	84.444	-7,104
62	T				PR15+263.165	PR15+313.813	50.648	-7,104
63	C	D	67,15	8	PR15+313.813	15+404.297	90.484	-7,104

Continuación cuadro 6.

64	T				PR15+404.297	PR15+459.755	55.458	-7,104
65	C	I	67,15	8	PR15+459.755	PR15+547.768	88.013	-7,104
66	T				PR15+547.768	PR15+616.192	68.424	-7,104
67	C	D	59,31	8	PR15+616.192	PR15+696.106	79.914	-7,104
68	T				PR15+696.106	PR15+782.697	86.591	-7,104
69	C	I	93,78	7,8	PR15+782.697	PR15+875.881	93.184	-7,104
70	T				PR15+875.881	PR15+945.422	69.541	-7,104
71	C	D	124,83	7	PR15+945.422	PR15+998.482	53,06	-7,104
72	T				PR15+998.482	PR16+080.788	82.306	-7,104
73	C	I	108,95	7,4	PR16+080.788	PR16+195.377	114.589	-7,104
74	T				PR16+195.377	PR16+388.998	193.621	-7,104
75	C	D	84,39	8	PR16+388.998	PR16+456.292	67.294	-7,104
76	T				PR16+456.292	PR16+549.163	92.871	-7,104
77	C	I	179,82	6	PR16+549.163	PR16+608.379	59.216	-7,104
78	T				PR16+608.379	PR16+748.381	140.002	-7,104
79	C	D	55,3	8	PR16+748.381	PR16+811.567	63.186	-7,104
80	T				PR16+811.567	PR16+863.024	51.457	-7,104
81	C	I	79	8	PR16+863.024	PR17+000.78	137.756	-7,104
82	T				PR17+000.78	PR17+133.421	132.641	-7,104
83	C	D	95,21	7,8	PR17+133.421	PR17+193.279	59.472	-4,407
84	T				PR17+193.279	PR17+459.817	266.538	-4,407
85	C	I	126,15	7	PR17+459.817	PR17+625.21	165.393	-6,958
86	T				PR17+625.21	PR17+767.423	142.213	-6,958
87	C	D	201,88	5,6	PR17+767.423	PR18+031.408	263.985	-4,67
88	T				PR18+031.408	PR18+279.159	247.751	-4,441
89	C	D	103,34	7,6	PR18+279.159	PR18+357.263	78.104	-6,63
90	T				PR18+357.263	PR18+517.549	160.286	-6,63
91	C	D	87,92	8	PR18+517.549	PR18+571.358	53.809	-6,63
92	T				PR18+571.358	PR18+624.355	52.997	-6,63
93	C	I	77,6	8	PR18+624.355	PR18+682.405	58,05	-6,63
94	T				PR18+682.405	PR18+793.954	111.549	-6,63
95	C	I	54,36	8	PR18+793.954	PR18+867.186	73.232	-5,771
96	T				PR18+867.186	PR18+904.53	37.344	-5,771
97	C	D	57,27	8	PR18+904.53	PR18+966.11	61,58	-7,421
98	T				PR18+966.11	PR19+029.864	63.754	-7,421
99	C	I	80,69	8	PR19+029.864	PR19+070.364	40,5	-7,421
100	T				PR19+070.364	PR19+114.186	43.822	-7,421
101	C	D	116,46	7,2	PR19+114.186	PR19+164.975	50.789	-7,421

Continuación cuadro 6.

102	T				PR19+164.975	PR19+195.945	30,97	-7,421
103	C	I	55,97	8	PR19+195.945	PR19+246.776	50.831	-7,421
104	T				PR19+246.776	PR19+337.909	91.133	-7,421
105	C	D	43,01	8	PR19+337.909	PR19+404.254	66.345	5,258
106	T				PR19+404.254	PR19+428.845	24.591	5,258
107	C	I	47,89	8	PR19+428.845	PR19+478.173	49.328	5,258
108	T				PR19+478.173	PR19+543.65	65.477	5,258
109	C	D	113,35	7,4	PR19+543.65	PR19+586.822	43.172	-2,301
110	T				PR19+586.822	PR19+714.746	127.924	-2,301
111	C	D	95,18	7,8	PR19+714.746	PR19+787.541	72.795	-2,301
112	T				PR19+787.541	PR19+902.41	114.869	0,792
113	C	I	80,25	8	PR19+902.41	PR19+981.909	79.499	0,792
114	T				PR19+981.909	PR20+052.480	70,571	0,792

5.2 VELOCIDAD DE OPERACIÓN

Esta medición se llevó acabo utilizando el radar de medición de velocidades, lo que permitió recolectar los datos y la información necesaria para llevar acabo el estudio y realizar el perfil de velocidades de operación correspondiente a cada categoría analizada. La medición se realizó para cada elemento bajo las condiciones ya planteadas para este estudio (ver cuadro 7).

**Cuadro 7. Información obtenida de la medición de velocidad de operación
para el elemento No. 2**

	Sentido NORTE-SUR			Sentido SUR-NORTE		
No.	Automóviles	Buses	C2	Automóviles	Buses	C2
1	28	24	24	23	22	21
2	28	24	24	23	22	21
3	28	25	24	23	22	22
4	29	25	24	23	23	22
5	30	25	25	24	23	22
6	30	25	25	25	23	22
7	31	25	25	25	23	22
8	31	26	25	25	23	22
9	31	27	25	25	24	22
10	31	27	26	25	24	23
11	32	27	26	25	24	23
12	32	27	26	26	24	23
13	32	28	26	26	24	23
14	32	28	27	26	25	23
15	33	28	27	27	25	24
16	33	28	27	27	25	24
17	33	28	27	28	26	24
18	33	29	27	28	26	24
19	33	29	27	28	27	25
20	34	29	28	28	27	25
21	34	29	28	29	27	25
22	35	30	28	30	27	25
23	35	30	28	30	28	25
24	35	30	29	30	28	25
25	35	30	29	30	28	26
26	35	30	29	30	28	26
27	36	30	29	30	28	26
28	36	30	30	31	29	26
29	36	31	30	31	29	26
30	36	31	30	31	29	26
31	36	31	30	31	29	26
32	36	31	30	31	29	26
33	37	32	30	32	29	26
34	37	32	30	32	29	26
35	37	32	30	32	29	26

Continuación cuadro 7.

36	38	33	30	32	29	27
37	38	33	30	32	29	27
38	38	33	30	32	30	27
39	38	33	31	32	30	27
40	38	33	31	32	30	27
41	38	34	31	32	30	27
42	38	34	31	33	30	27
43	39	34	31	33	30	27
44	39	34	31	33	31	29
45	39	35	31	33	31	29
46	39	35	31	33	33	30
47	39	35	31	33	33	30
48	39	37	32	33	33	30
49	40	37	32	34	33	30
50	42	37	32	34	33	30
51	42	37	32	34	34	30
52	42	37	33	34	34	30
53	42	37	33	35	34	30
54	42	38	33	35	34	30
55	43	38	33	35	35	31
56	43	39	33	35	35	31
57	43	39	34	36	36	31
58	43	40	34	36	36	31
59	43	40	34	36	36	31
60	43	40	34	36	37	32
61	43	40	35	36	37	32
62	44	41	35	37	37	32
63	44	41	36	37	37	34
64	44	43	36	37	38	34
65	45	43	36	37	38	34
66	45	43	37	38	38	35
67	47	44	37	39	40	35
68	48	44	38	42	40	36
69	51	44	38	43	41	38

Con la información de velocidades obtenida de todos los elementos del tramo se realizó un análisis estadístico obteniendo intervalos de clase que permitió identificar la frecuencia de ocurrencia de cada suceso, obteniendo la frecuencia acumulada en donde se identificó el percentil 85 que refleja la velocidad de operación para cada elemento.

Cuadro 8. Frecuencias observadas y acumuladas de autos sentido N-S del elemento No. 2

INTERVALO DE CLASE GRUPOS DE VELOCIDAD (KM/H)		PUNTO MEDIO Vi(KM/H)	FRECUENCIA OBSERVADA		FRECUENCIA ACUMULADA	
			ABSOLUTA Fi	RELATIVA fi(%)	ABSOLUTA fia	RELATIVA fia(%)
28,00	30,87	29,43	6,00	8,70	6,00	8,70
30,88	33,74	32,31	13,00	18,84	19,00	27,54
33,75	36,62	35,18	13,00	18,84	32,00	46,38
36,63	39,49	38,06	16,00	23,19	48,00	69,57
39,50	42,37	40,93	6,00	8,70	54,00	78,26
42,38	45,24	43,81	12,00	17,39	66,00	95,65
45,25	48,12	46,68	2,00	2,90	68,00	98,55
48,13	<u>51,00</u>	49,56	1,00	1,45	69,00	100,00
			69,00	100,00		

Según la anterior información y el análisis estadístico del **Anexo A** se puede inferir que la velocidad de operación de los autos para el elemento No.2 en sentido N-S es de 43 km/h (ver cuadro 8).

Cuadro 9. Frecuencias observadas y acumuladas de buses sentido N-S del elemento No. 2

INTERVALO DE CLASE GRUPOS DE VELOCIDAD (KM/H)		PUNTO MEDIO Vi(KM/H)	FRECUENCIA OBSERVADA		FRECUENCIA ACUMULADA	
			ABSOLUTA Fi	RELATIVA fi(%)	ABSOLUTA Fia	RELATIVA fia(%)
24,00	26,49	25,25	8,00	11,59	8,00	11,59
26,50	28,99	27,75	9,00	13,04	17,00	24,64
29,00	31,49	30,25	15,00	21,74	32,00	46,38
31,50	33,99	32,75	8,00	11,59	40,00	57,97
34,00	36,49	35,25	7,00	10,14	47,00	68,12
36,50	38,99	37,75	8,00	11,59	55,00	79,71
39,00	41,49	40,25	8,00	11,59	63,00	91,30
41,50	44,00	42,75	6,00	8,70	69,00	100,00
			69,00	100,00		

Según la anterior información y el análisis estadístico del **Anexo A** se puede inferir que la velocidad de operación de los buses para el elemento No.2 en sentido N-S es de 40 km/h (ver cuadro 9).

Cuadro 10. Frecuencias observadas y acumuladas de C2 sentido N-S del elemento No. 2

INTERVALO DE CLASE GRUPOS DE VELOCIDAD (KM/H)		PUNTO MEDIO Vi(KM/H)	FRECUENCIA OBSERVADA		FRECUENCIA ACUMULADA	
			ABSOLUTA Fi	RELATIVA fi(%)	ABSOLUTA Fia	RELATIVA fia(%)
24,00	25,74	24,87	9,00	13,04	9,00	13,04
25,75	27,49	26,62	10,00	14,49	19,00	27,54
27,50	29,24	28,37	8,00	11,59	27,00	39,13
29,25	30,99	30,12	11,00	15,94	38,00	55,07
31,00	32,74	31,87	13,00	18,84	51,00	73,91
32,75	34,49	33,62	9,00	13,04	60,00	86,96
34,50	36,24	35,37	5,00	7,25	65,00	94,20
36,25	38,00	37,13	4,00	5,80	69,00	100,00
			69,00	100,00		

Según la anterior información y el análisis estadístico del **Anexo A** se puede inferir que la velocidad de operación de los C2 para el elemento No.2 en sentido N-S es de 34 km/h (ver cuadro 10).

El anterior procedimiento se desarrolló para la información muestral obtenida en el mismo elemento en sentido S-N. Obteniendo el siguiente cuadro resumen para el elemento No. 2 (ver cuadro 11).

Cuadro 11. Velocidades de operación elemento No. 2

No.	Elemento	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) SENTIDO N-S				VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) SENTIDO S-N			
		Ubicación	Autos	Buses	Camiones C2	Ubicación	Autos	Buses	Camiones C2
2	T	PR0+320	43	40	34	PR0+320	36	36	33,6

El anterior procedimiento se llevó acabo para todos los elementos del tramo en los dos sentidos de marcha, obteniendo las velocidades de operación que se muestran en el siguiente cuadro resumen (ver cuadro 12).

Cuadro 12. Velocidades de operación

No.	Elemento	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) SENTIDO N-S				VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH) SENTIDO S-N			
		Ubicación	Autos	Buses	Camiones C2	Ubicación	Autos	Buses	Camiones C2
2	T	PR0+320	43	40	34	PR0+320	36	36	33,6
3	C	PR0+462	43	39,8	40,8	PR0+506	42,8	35	37
4	T	PR0+699	61,8	51,8	50	PR0+699	61,6	50	50
5	C	PR0+892	53	45,8	47	PR0+936	49,6	41	42,8
6	T	PR1+026	60	51,6	52,8	PR1+026	53	51	49
7	C	PR1+117	55,8	49	49	PR1+162	53	45,8	48
8	T	PR1+370	68	53	55	PR1+370	59	51	51
9	C	PR1+570	71,8	61	61	PR1+600	60	51,8	54,6
10	T	PR1+820	62,8	54	55	PR1+820	56	46,8	50
11	C	PR2+047	54,8	47,8	48,8	PR2+091	46	38	40
12	T	PR2+196	46	41,8	43	PR2+196	49	40	42,8
13	C	PR2+308	46,8	40	42	PR2+364	55	48	46,8
14	T	PR2+561	56,8	46	46	PR2+561	51,8	46	43
15	C	PR2+857				PR2+884			
16	T	PR2+925				PR2+925			
17	C	PR2+956				PR2+965			
18	T	PR3+200				PR3+200			
19	C	PR3+407				PR3+503			
20	T	PR4+100	63	50,8	53	PR4+100	60	53	50
20	T	PR4+500	60	48	51	PR4+500	60	52	51
20	T	PR4+900	65	52,8	53	PR4+900	65	50,8	52,6
20	T	PR5+400	61,6	47	50,8	PR5+400	64	51,8	51,8
20	T	PR6+200	64	53	51	PR6+200	66	53,8	55
20	T	PR6+750	58,8	52,8	52	PR6+750	55	50	48,8
21	C	PR7+000	64,8	57	54	PR7+000	61	54	51
22	T	PR7+115	60	53	50,8	PR7+115	54	50	48
23	C	PR7+188	57	51	49	PR7+262	49	47	48
24	T	PR7+646	61	54,8	54	PR7+646	52,8	51	51
24	T	PR7+993	65,8	56	56	PR7+993	63	56	57
24	T	PR8+341	70	57	57,8	PR8+341	73	56,8	59,8
25	C	PR8+700	55	48	47	PR8+724	59	51	50
26	T	PR8+946	64	55	52,8	PR8+946	66,6	58	55,8
26	T	PR9+155	68	63,8	62	PR9+155	72	64	66
27	C	PR9+394	67	58	57,8	PR9+454	68	59,8	62,6
28	T	PR9+650	73,8	61	61	PR9+650	67	57	56

Continuación cuadro 12.

28	T	PR9+950	64	54	55,8	PR9+950	66	54	55
28	T	PR10+300	73	57	61	PR10+300	73,8	63,8	62
28	T	PR10+750	61,8	49	48	PR10+750	65	52	52,8
29	C	PR10+919	63,6	51	48	PR10+955	70	59,8	54
30	T	PR11+148	66	58,6	55	PR11+148	73	60,8	59
30	T	PR11+322	63	56	52,8	PR11+322	82,8	68	63
31	C	PR11+526	63	55	51,6	PR11+584	67,8	59	57
32	T	PR11+712	62,8	55	49,8	PR11+712	74,8	61,8	61,8
33	C	PR11+842	64	52	49	PR11+903	65	56,8	51,8
34	T	PR11+989	62	57	49	PR11+989	67,8	60	56,8
35	C	PR12+074	64	54	48	PR12+133	68	63	56
36	T	PR12+335	60	49	47,8	PR12+335	80	67	63
37	C	PR12+531	63,8	55	51,8	PR12+576	71	60	58
38	T	PR12+790	70	59	53,8	PR12+790	78,8	69	63,6
39	C	PR12+999	67	56,8	56,8	PR13+033	74,6	60	58
40	T	PR13+115	61,8	54	54	PR13+115	72	60,8	57
41	C	PR13+197	62	53,8	48	PR13+230	64	56	52,8
42	T	PR13+270	63	57,8	55	PR13+270	66	58,8	56
43	C	PR13+310	63,8	54,8	53	PR13+346	64,8	59	55
44	T	PR13+399	66	57	53	PR13+399	69	60	57,8
45	C	PR13+447	63,8	55	54,8	PR13+473	70	66,8	60
46	T	PR13+536	66	58,8	55,8	PR13+536	75	68	60
47	C	PR13+601	65,6	56,8	57,8	PR13+633	75	65	65
48	T	PR13+691	60	52	49,8	PR13+691	72	63	62,8
49	C	PR13+749	68	54,8	53	PR13+784	77,8	61	59,8
50	T	PR13+975	73,8	64	61,8	PR13+975	81,8	69	64
50	T	PR14+063	73	63,8	60	PR14+063	87	71,8	65,8
51	C	PR14+344	67,8	59	54,8	PR14+385	73,8	67,6	66
52	T	PR14+441	67	64,8	59,8	PR14+441	72	66	65
53	C	PR14+504	67	63,8	58,8	PR14+562	64,8	61,8	57
54	T	PR14+671	65	58,8	54	PR14+671	74,8	64,8	59,8
55	C	PR14+771	61,8	54	53	PR14+812	65	62	59
56	T	PR14+862	60	50,8	50	PR14+862	67	64	60
57	C	PR14+904	59	53	51	PR14+929	65	57	55
58	T	PR14+997	60	53	50	PR14+997	64	57	55
59	C	PR15+076	60	54,8	50	PR15+125	60	56,8	53,8
60	T	PR15+164	59	55	52,8	PR15+164	62	57	53
61	C	PR15+200	59,8	53,6	50,8	PR15+242	61	56	54,8
62	T	PR15+288	64	55,8	53,8	PR15+288	65,8	60,8	57,8
63	C	PR15+336	58	54	52	PR15+382	62,6	57	53

Continuación cuadro 12.

64	T	PR15+432	62,8	59	55	PR15+432	64	63	61,8
65	C	PR15+482	58	53	50	PR15+526	61	59	54
66	T	PR15+582	62	55	54	PR15+582	63	57,8	56,8
67	C	PR15+636	61,6	54	51	PR15+676	65	59,6	55,8
68	T	PR15+739	62,6	56	55	PR15+739	68,6	59	59
69	C	PR15+806	59,8	53	51,8	PR15+853	64	60	57
70	T	PR15+911	62	55,6	52	PR15+911	63,8	58,6	54,8
71	C	PR15+959	60	52,8	49	PR15+985	64	57,8	55,8
72	T	PR16+040	62,8	56	55	PR16+040	69	61	60
73	C	PR16+109	63	54	53	PR16+167	65	58,8	56
74	T	PR16+292	61	53,6	50	PR16+292	70	62,8	59,8
75	C	PR16+406	59,8	54	49,8	PR16+439	63,8	58,6	55
76	T	PR16+503	61,6	56	53	PR16+503	68	60	58,8
77	C	PR16+564	60	55	52	PR16+594	68	58	54
78	T	PR16+678	63,8	55	53	PR16+678	70	60	57
79	C	PR16+764	59	56	55	PR16+796	63	59	55
80	T	PR16+837	59	56,8	55	PR16+837	67,6	60	57,8
81	C	PR16+897	61	56,6	52	PR16+966	63,8	58,8	56
82	T	PR17+067	63	56	53	PR17+067	68,8	61	59
83	C	PR17+149	63,8	57	53	PR17+178	71,8	62	62,6
84	T	PR17+327	73,6	64	59	PR17+327	74	65	60
85	C	PR17+501	62	58,8	58	PR17+584	68	61	57,6
86	T	PR17+696	64	58,8	56,8	PR17+696	73	65	61
87	C	PR17+833	63	58,8	59	PR17+965	65	60	59
88	T	PR18+155	60	55,6	53	PR18+155	63,6	58	55
89	C	PR18+299	58	52,8	51	PR18+338	63	53	53
90	T	PR18+437	60,8	55	51	PR18+437	68	62	58
91	C	PR18+531	59	50	49	PR18+558	62,8	54	56,8
92	T	PR18+598	57,8	54,8	48,8	PR18+598	60	57	53
93	C	PR18+639	56,8	52,8	48	PR18+668	61	57	51,8
94	T	PR18+738	61	56	50	PR18+738	66	62,8	57
95	C	PR18+812	53	51	46,8	PR18+849	57	53	51
96	T	PR18+886	56	51	48,8	PR18+886	57	56	52
97	C	PR18+920	56	53	46,8	PR18+951	60	55	49,8
98	T	PR18+998	55	50,8	47	PR18+998	61	56	53
99	C	PR19+040	57	51	49,8	PR19+060	62	56,8	55,6
100	T	PR19+092	59	53	49	PR19+092	62	58	54,8
101	C	PR19+127	57,8	54	51	PR19+152	64,8	61	59
102	T	PR19+180	59	52	52	PR19+180	60	56	52
103	C	PR19+209	58	52,8	49	PR19+234	61	55	53

Continuación cuadro 12.

104	T	PR19+292	63,6	56,8	53	PR19+292	62	57	54,8
105	C	PR19+354	55,8	49	47	PR19+388	54	48	47
107	C	PR19+441	56	51	50,8	PR19+466	56,8	51,8	48
108	T	PR19+511	63,8	56	54	PR19+511	57,8	48	54
109	C	PR19+554	63,8	58	55	PR19+576	63	60	54,8
110	T	PR19+651	66,8	60	59,8	PR19+651	64	58	57
111	C	PR19+733	67	62,8	58	PR19+769	65	61	58
112	T	PR19+845	66	61	58	PR19+845	66	60,8	56
113	C	PR19+922	64	60	54	PR19+962	61	58,8	55
114	T	PR20+017	66,8	61	58	PR20+017	66	62	56

Con la información recogida en campo y utilizando las formulas ya mencionadas en el marco teórico se obtuvo datos estadísticos tales como la Media Aritmética o Velocidad Media Temporal, Percentil 15, Percentil 50 o Mediana, Percentil 85, Desviación Estándar, Media Espacial que sirven de base para otros estudios. En el cuadro No. 13, se muestra el resumen de los datos estadísticos para el elemento No. 2 de la misma manera se realizó la tabla resumen para todos los elementos que componen el tramo vial, esta información se encuentra en el **Anexo E**.

Cuadro 13. Datos estadísticos del elemento No. 2

Elemento No.	Sentido	Tipo de Vehículo	Amplitud Intervalo	Media Aritmética (km/h)	Desviación Estándar (km/h)	Percentil 15 (km/h)	Percentil 50 (km/h)	Percentil 85 (km/h)	Media Espacial (km/h)
2 PR0+320	N-S	Automóvil	2,88	37,35	4,83	32	37	43	36,65
		Bus	2,50	27,00	5,35	27	32	40	32,09
		C2	1,75	30,3	3,42	26	30	34	29,72
	S-N	Automóvil	2,5	31,49	4,46	25	32	36	30,6
		Bus	2,38	29,89	4,9	24	29	36	29,16
		C2	2,13	27,26	4,06	23	26	31	26,74

5.3 VELOCIDAD DE DISEÑO

5.3.1 Velocidad específica en curvas horizontales (VCH). Se identificaron las velocidades específicas para cada una de las curvas según procedimiento contemplando en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de 2008 del INVIAS, el cual establece:

“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)”^[13] (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Radios (Rc) según velocidad específica (V_{CH}) y peraltes (e) para e_{máx}= 8%.

e (%)	VCH=40	VCH=50	VCH=60	VCH=70	VCH=80	VCH=90	VCH=100	VCH=110	VCH=120	VCH=130
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)	R(m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2,0	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2,2	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2,4	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2,6	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2,8	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3,0	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3,2	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3,4	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3,6	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3,8	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4,0	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4,2	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4,4	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4,6	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4,8	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5,0	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5,2	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5,4	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5,6	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5,8	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6,0	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6,2	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6,4	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6,6	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140

^[13] Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS. 2008.

Continuación cuadro 14.

6,8	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7,0	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7,2	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7,4	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7,6	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7,8	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8,0	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Con la información recolectada de todos los elementos del tramo, como el peralte y el radio de las curvas se ingresó al cuadro anterior y se encontró la velocidad específica de las curvas mediante el proceso de interpolación que se muestra a continuación.

5.3.2 Velocidad específica Elemento No. 3:

Radio (Rc): 165.38 m.

Peralte (e): 6.2%

e(%)	V _{CH} =50 Km/h R(m)	V _{CH} Km/h R(m)	V _{CH} =60 Km/h R(m)
6,2	161	165.38	238

Entonces se debe interpolar entre los valores anteriores para encontrar la VCH para Rc= 165.38 y e= 6,2 % de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} (238-161)..... (60-50) \\ (165.38-161)..... X \end{aligned}$$

Por lo tanto, $X = 0.5688$ km/h luego $V_{CH} = 50\text{km/h} + 0.5688\text{km/h} = 50.5688$ km/h
El anterior procedimiento se realizó para todas las curvas del tramo.

5.3.3 Velocidad específica en entretangencias horizontales (VETH). Para obtener estas velocidades se siguió el procedimiento que se especifica en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS. 2008: “En carreteras de una calzada, un vehículo puede ingresar a la entretangencia saliendo de la curva horizontal localizada en un extremo, que tiene una determinada Velocidad Específica (VCH), o saliendo de la curva localizada en el otro extremo, que también tiene su propia Velocidad Específica (VCH). Los vehículos van a circular por la entretangencia a la velocidad a la que salieron de la curva siendo críticos los que entraron a la entretangencia desde la curva horizontal que presenta la Velocidad Específica mayor. En consecuencia, la Velocidad Específica de la

entretangencia horizontal (VETH) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.”^[14]

Para encontrar la velocidad específica del elemento No 4 se debe tener en cuenta que:

VCH Elemento No 3 = 50.57 km/h

VCH Elemento No 5 = 50.22 km/h

Según lo anterior la velocidad específica (VCH) para la entretangencia o elemento No 4 es de 50.57 km/h.

El mismo procedimiento se realizó para todas las entretangencias del tramo. En el siguiente cuadro se muestran las velocidades específicas de todos los elementos que componen el tramo vial (ver cuadro 15).

Cuadro 15. Velocidades específicas de los elementos geométricos

No. Elemento	Elemento	R(m)	Peralte (%)	Velocidad
				específica (km/h)
2	T			50,57
3	C	165,38	6,2	50,57
4	T			50,57
5	C	100,12	7,6	50,22
6	T			50,46
7	C	135,02	6,8	50,46
8	T			50,78
9	C	406,97	3,6	50,78
10	T			50,78
11	C	89,81	7,8	49,95
12	T			50,23
13	C	100,19	7,6	50,23
14	T			50,23
15	C	169,55	6,2	51,11
16	T			52,39
17	C	82,54	8	52,39
18	T			52,39
19	C	165,19	6,2	50,54

¹⁴ Ibid.

Continuación cuadro 15.

20	T			50,78
21	C	3046,28	2,5	50,78
22	T			50,78
23	C	191,65	5,8	50,78
24	T			50,78
25	C	142,71	6,6	50,25
26	T			50,98
27	C	158,14	6,4	50,98
28	T			50,98
29	C	266,46	4,8	50,32
30	T			50,98
31	C	292,16	4,6	50,98
32	T			50,98
33	C	99,68	7,6	50,13
34	T			50,93
35	C	120,5	7,2	50,93
36	T			50,93
37	C	146,23	6,6	50,76
38	T			52,16
39	C	536,65	3	52,16
40	T			52,16
41	C	98,99	7,6	50,00
42	T			52,39
43	C	82,57	8	52,39
44	T			52,39
45	C	161,18	6,2	50,02
46	T			50,23
47	C	200,09	5,6	50,23
48	T			50,23
49	C	256,99	5	51,07
50	T			51,07
51	C	191,75	5,8	50,79
52	T			50,79
53	C	152,67	6,4	50,23
54	T			50,39
55	C	101	7,6	50,39
56	T			50,39
57	C	54,67	8	44,27
58	T			46,55
59	C	61,97	8	46,55

Continuación cuadro 15.

60	T			47,85
61	C	66,11	8	47,85
62	T			48,17
63	C	67,15	8	48,17
64	T			48,17
65	C	67,15	8	48,17
66	T			48,17
67	C	59,31	8	45,72
68	T			50,80
69	C	93,78	7,8	50,80
70	T			50,80
71	C	124,83	7	50,30
72	T			50,35
73	C	108,95	7,4	50,35
74	T			52,85
75	C	84,39	8	52,85
76	T			52,85
77	C	179,82	6	50,97
78	T			50,97
79	C	55,3	8	44,47
80	T			51,50
81	C	79	8	51,50
82	T			51,50
83	C	95,21	7,8	51,11
84	T			51,11
85	C	126,15	7	50,51
86	T			50,51
87	C	201,88	5,6	50,43
88	T			50,85
89	C	103,34	7,6	50,85
90	T			53,73
91	C	87,92	8	53,73
92	T			53,73
93	C	77,6	8	51,15
94	T			51,15
95	C	54,36	8	44,18
96	T			45,08
97	C	57,27	8	45,08
98	T			51,92
99	C	80,69	8	51,92

Continuación cuadro 15.

100	T			51,92
101	C	116,46	7,2	50,25
102	T			50,25
103	C	55,97	8	44,68
104	T			44,68
105	C	43,01	8	40,63
106	T			42,15
107	C	47,89	8	42,15
108	T			51,15
109	C	113,35	7,4	51,15
110	T			51,15
111	C	95,18	7,8	51,10
112	T			51,81
113	C	80,25	8	51,81
114	T			51,81

5.4 VELOCIDAD DE TRAMO

Según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 en el literal 2.1.2. Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (VTR) menciona “La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se puede asignarle una velocidad de diseño (VTR) en el rango que se indica en el cuadro 16. En ella se resume el equilibrio entre el mejor nivel de servicio que se puede ofrecer a los usuarios de las carreteras colombianas y las posibilidades económicas del país.”^[16]

¹⁶ Ibíd.

Cuadro 16. 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										

Según lo anterior la velocidad de diseño de los tramos homogéneos se dividió el trayecto RUMICHACA – IPIALES PR00+000 - PR20+000 en cuatro tramos dependiendo de la categoría de carretera y el tipo de terreno que se presente de la siguiente manera:

- 1er. Tramo: Rumichaca – Ipiates PR0+200 – PR2+700 se presenta carretera primaria de una calzada y terreno montañoso, por lo tanto, según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 la velocidad de diseño del tramo homogéneo debe estar entre 60 y 90 km/h.
- 2do. Tramo: Ipiates – Las Cruces PR4+000 – PR10+974 se presenta carretera primaria de una calzada y terreno ondulado, por lo tanto, según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 la velocidad de diseño del tramo homogéneo debe estar entre 70 y 100 km/h.
- 3er Tramo: Las Cruces – Yanala PR10+974 – PR14+591 se presenta carretera primaria de una calzada y terreno montañoso, por lo tanto, según el Manual de

Diseño Geométrico del INVIAS 2008 la velocidad de diseño del tramo homogéneo debe estar entre 60 y 90 km/h.

- 4to Tramo: Yanala – San Juan PR14+591 – PR20+000 se presenta carretera primaria de una calzada y terreno montañoso, por lo tanto, según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 la velocidad de diseño del tramo homogéneo debe estar entre 60 y 90 km/h.

Sin embargo, teniendo en cuenta que el tramo de vía analizado fue construido y diseñado hace aproximadamente cuarenta años y que no se diseñó basándose en las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 se definió la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR) como la menor velocidad específica de todos los elementos que componen el tramo homogéneo.

Para el análisis se dividió el trayecto RUMICHACA – IPIALES PR00+000 - PR20+000 en tres tramos dependiendo de la categoría de carretera y el tipo de terreno que se presente en el mismo, de la siguiente manera:

- 1er. Tramo: Rumichaca – Ipiales PR0+200 – PR2+700 se presenta carretera primaria de una calzada con terreno montañoso y la menor velocidad específica que se presenta es de 50 km/h.
- 2do. Tramo: Ipiales – Las Cruces PR4+000 – PR10+974 se presenta carretera primaria de una calzada con terreno ondulado y la menor velocidad específica que se presenta es de 50 km/h.
- 3er. Tramo: Las Cruces – Yanala PR10+974 – PR14+591 se presenta carretera primaria de una calzada con terreno ondulado y la menor velocidad específica que se presenta es de 50 km/h.
- 4to. Tramo: Yanala – San Juan PR14+591 – PR20+000 se presenta carretera primaria de una calzada con terreno montañoso y la menor velocidad específica que se presenta es de 40 km/h.

6. PERFILES DE VELOCIDADES

Figura 1. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre RUMICHACA - IPIALES PR0+200 -PR2+700 Sentido N-S

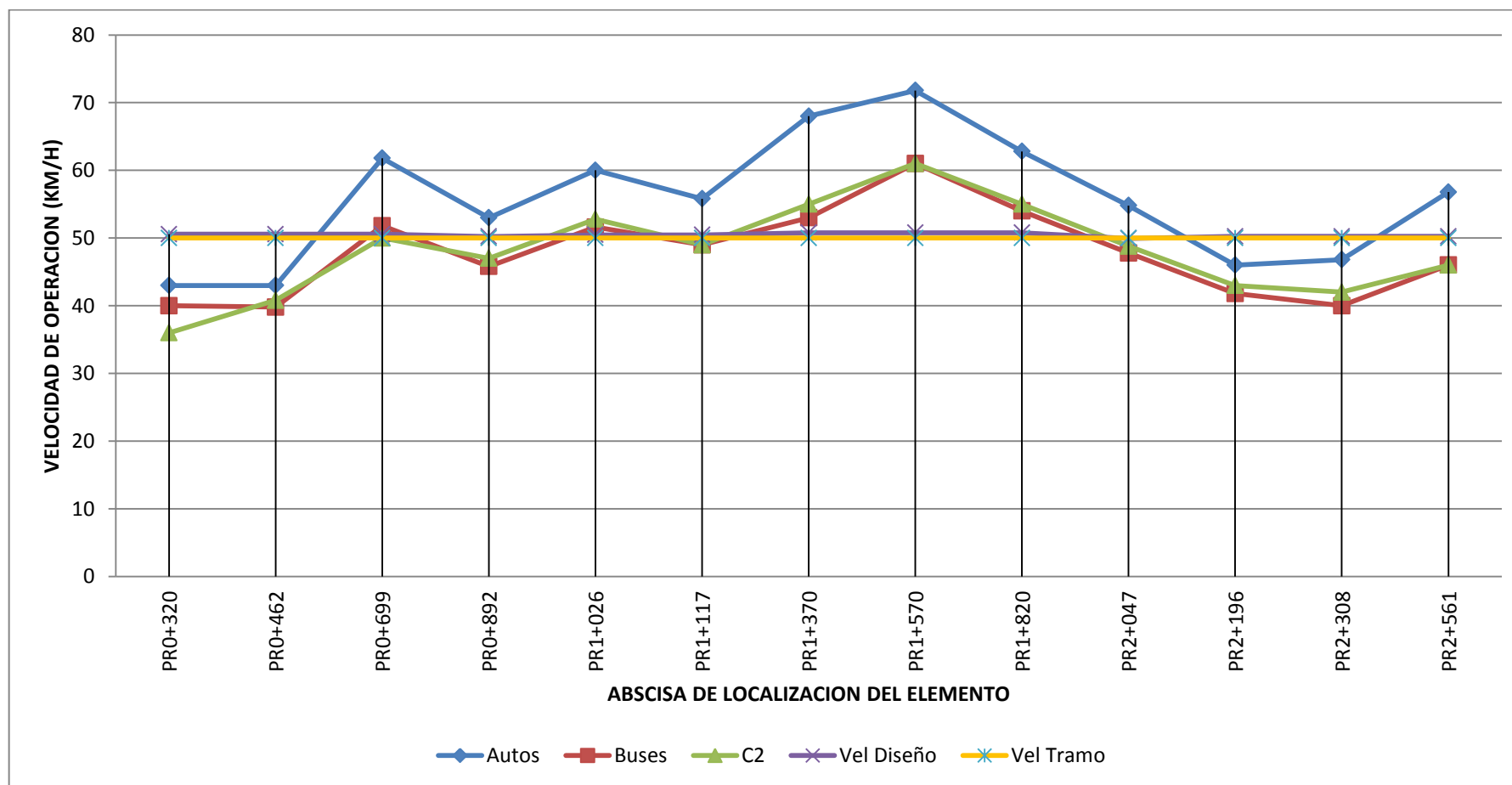


Figura 2. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974 Sentido N-S

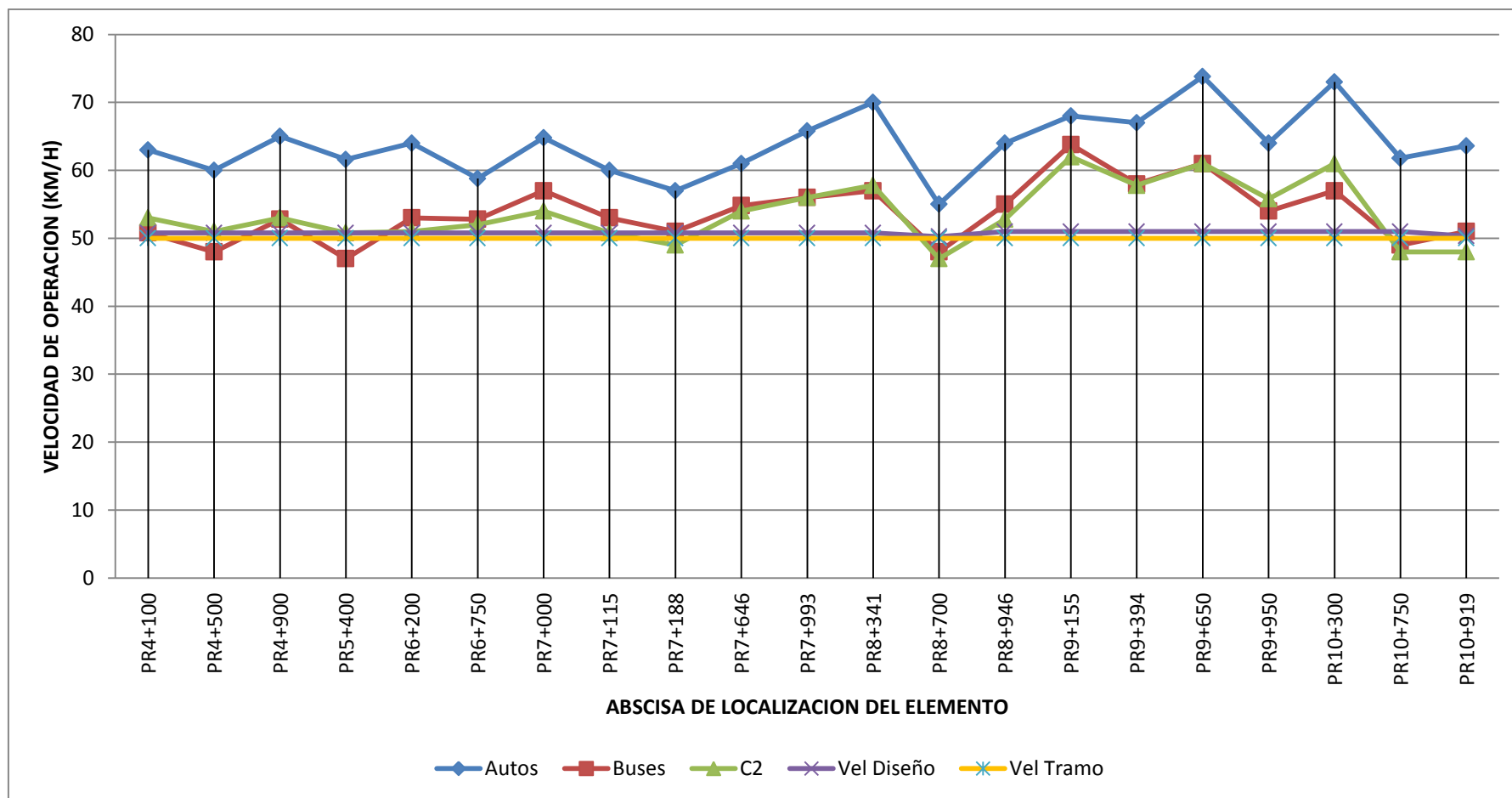
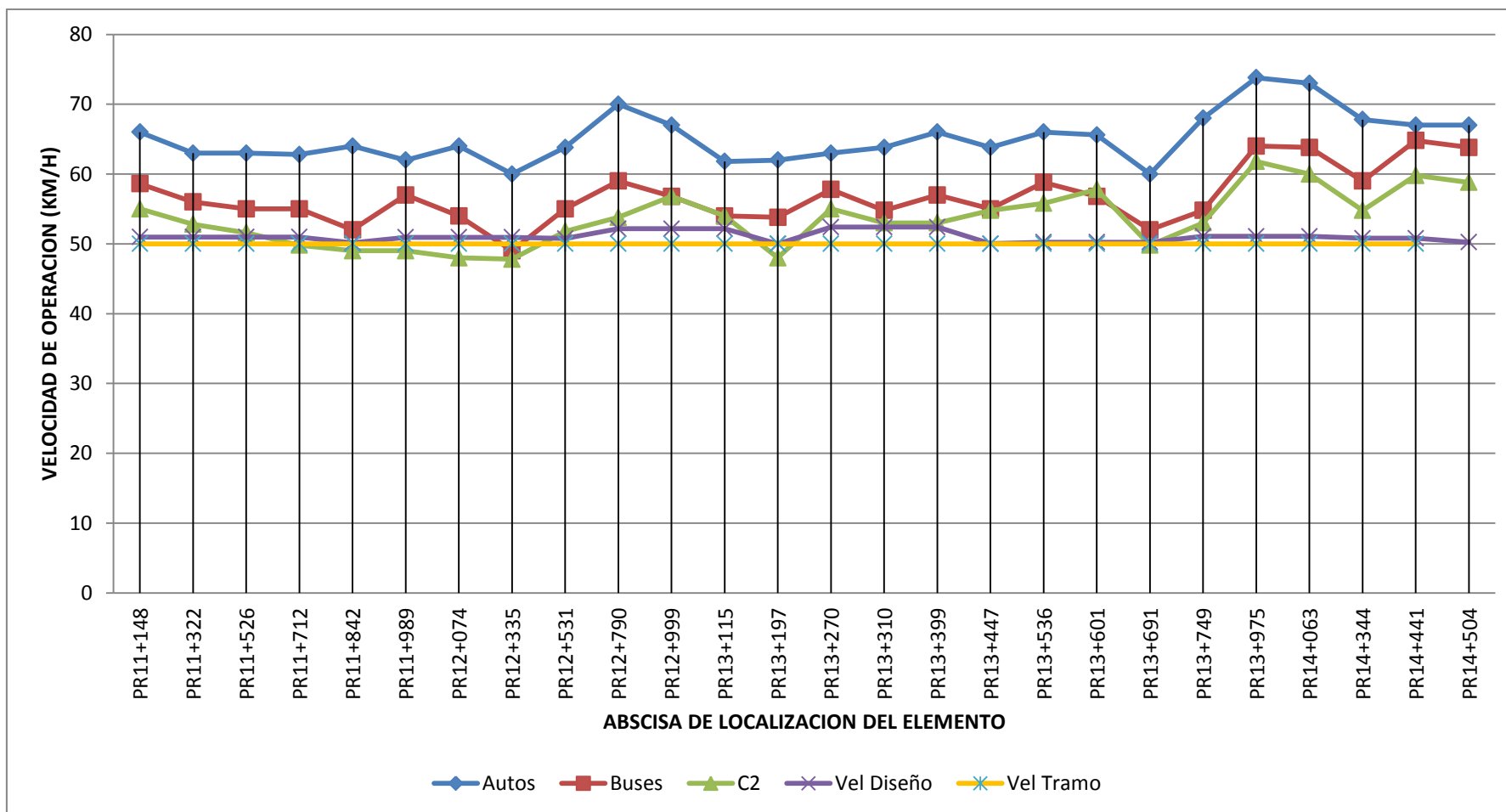
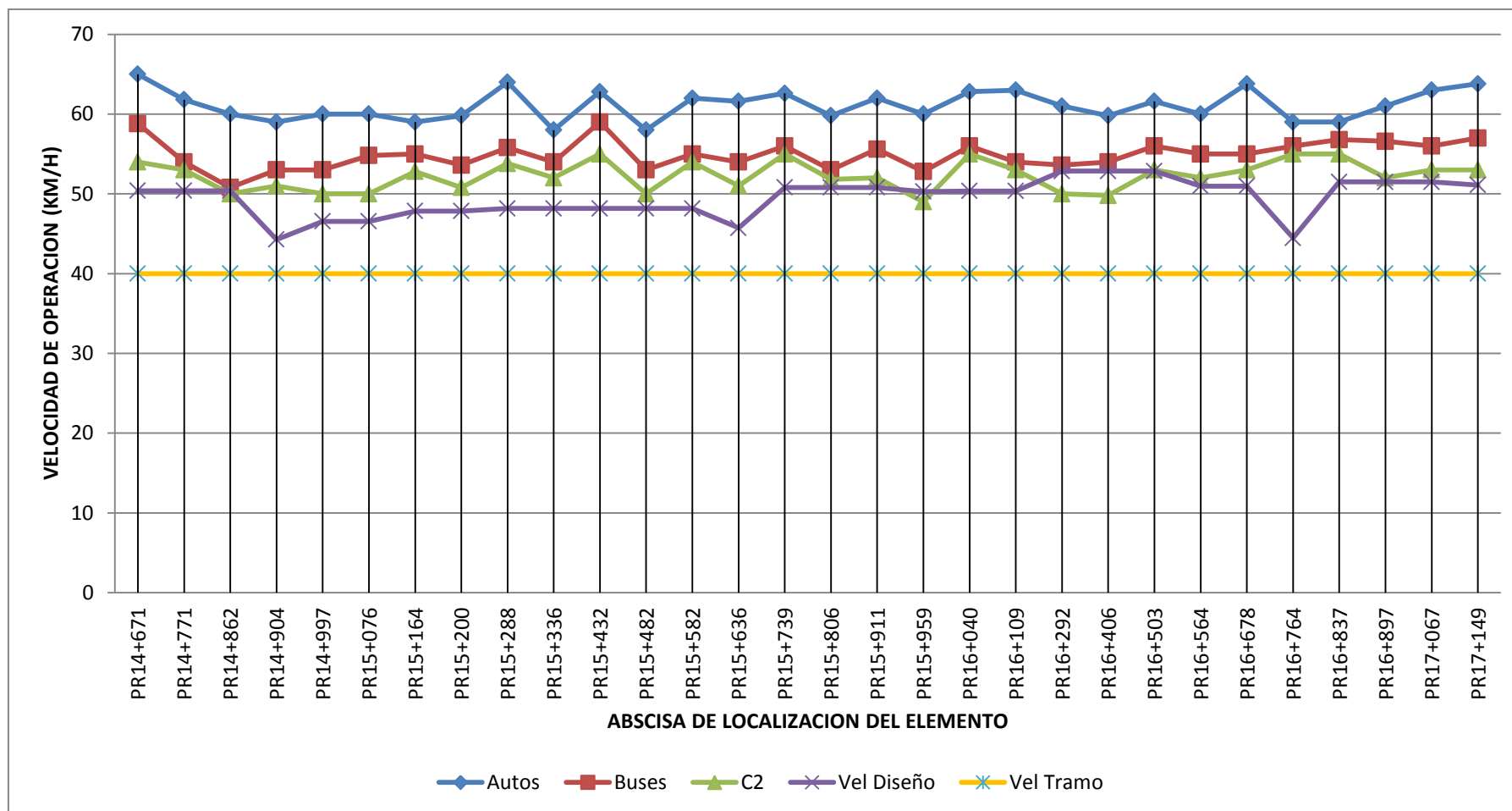


Figura 3. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre LAS CRUCES - YANALA PR10+974 - PR14+591 Sentido N-S



**Figura 4. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN 14+591 - PR20+000
Sentido N-S**



**Figura 5. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN 14+591 - PR20+000
Sentido N-S**

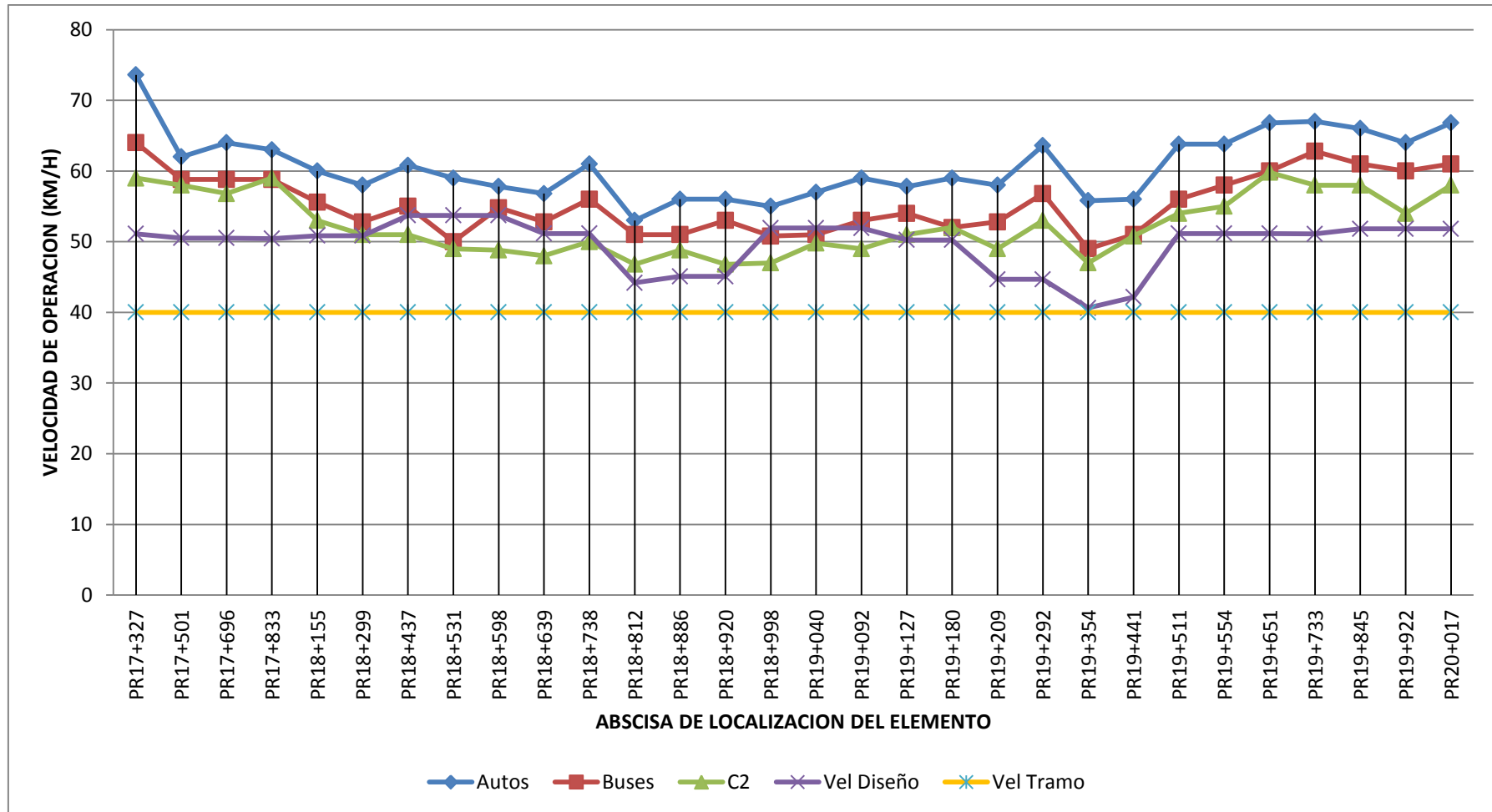


Figura 6. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre RUMICHACA - IPIALES PR0+200 - PR2+700 Sentido S-N

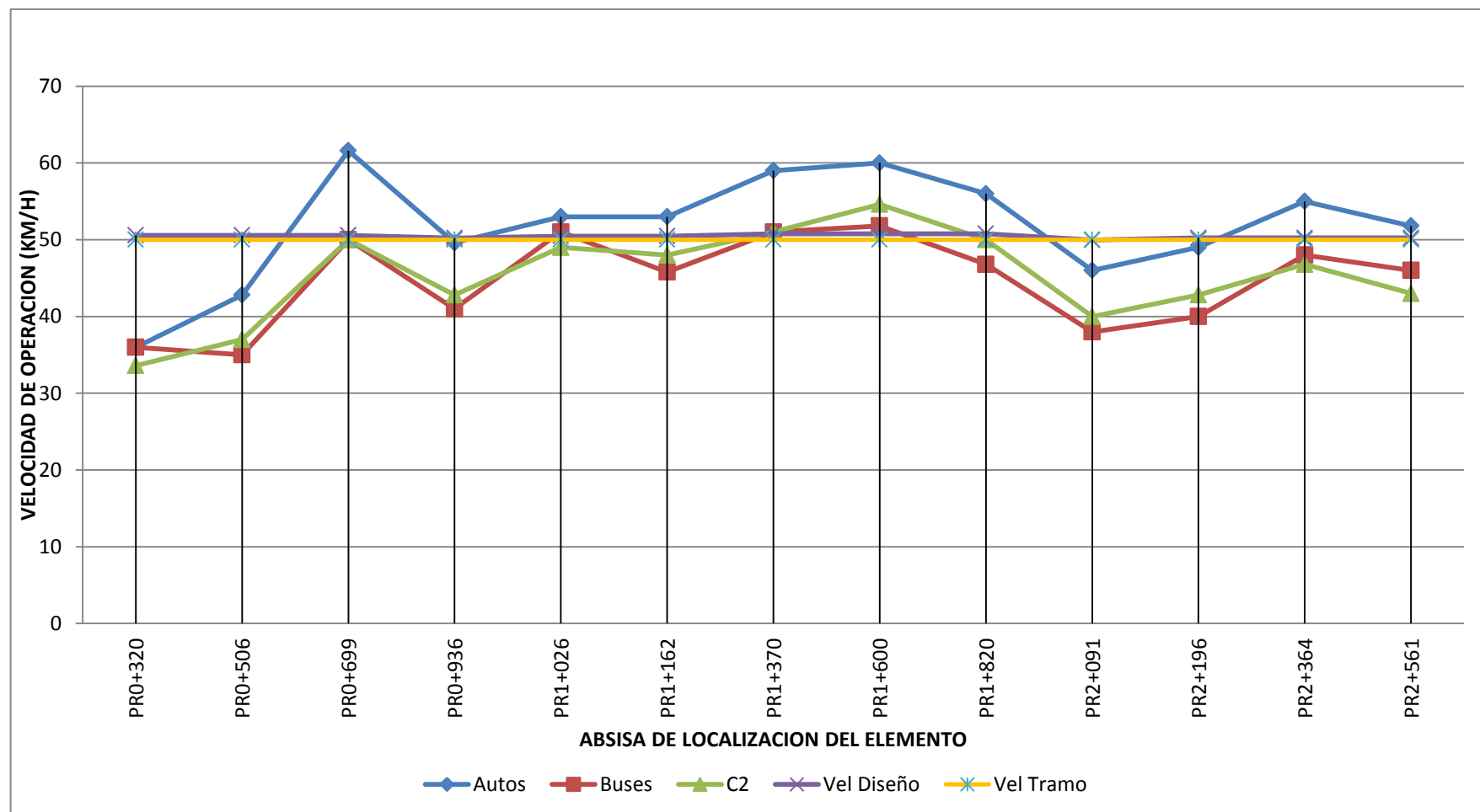


Figura 7. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974 Sentido S-N

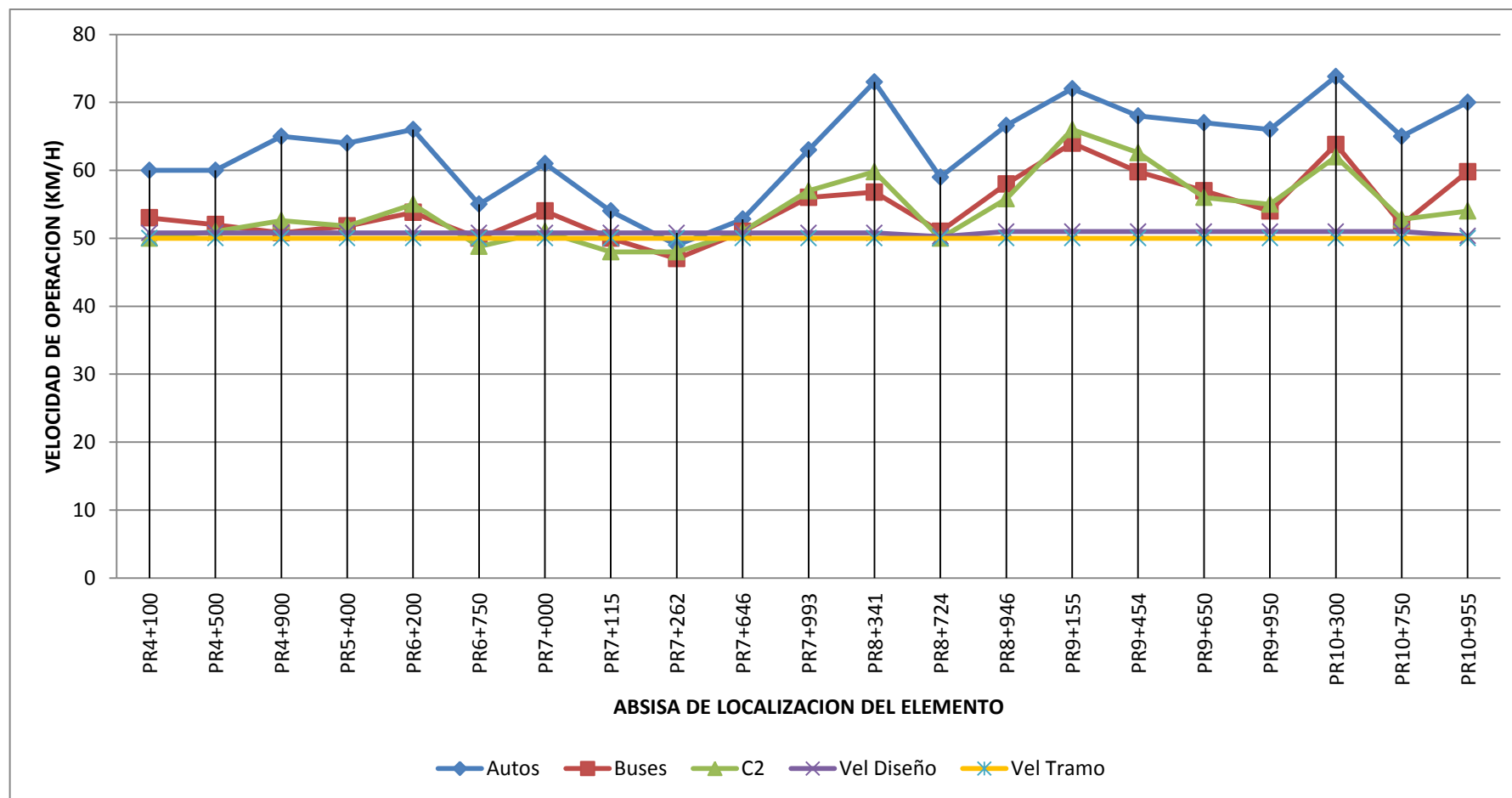


Figura 8. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre LAS CRUCES - YANALA PR10+974 - PR14+591 Sentido S-N

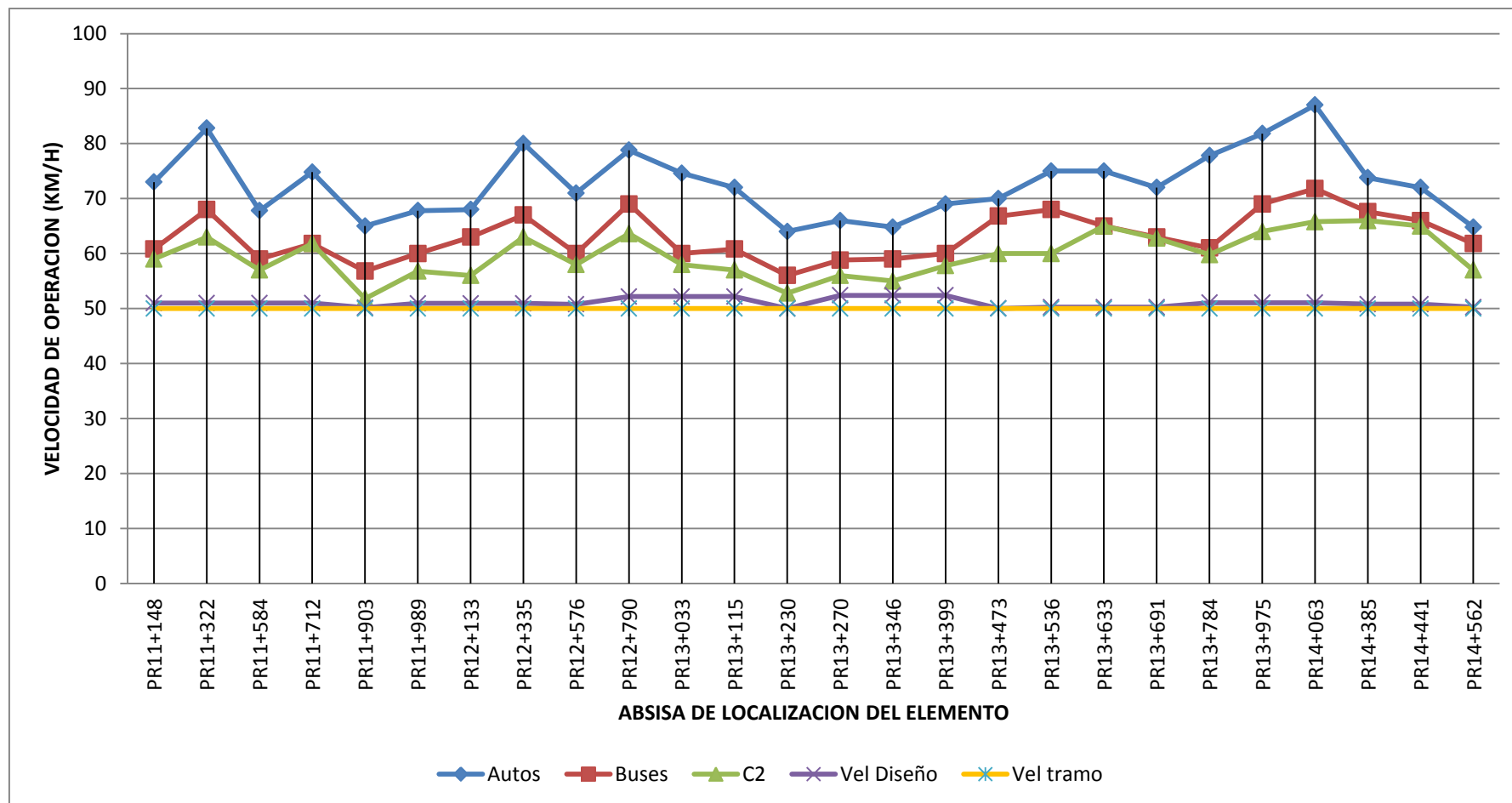


Figura 9. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN PR14+591 - PR20+000 Sentido S-N

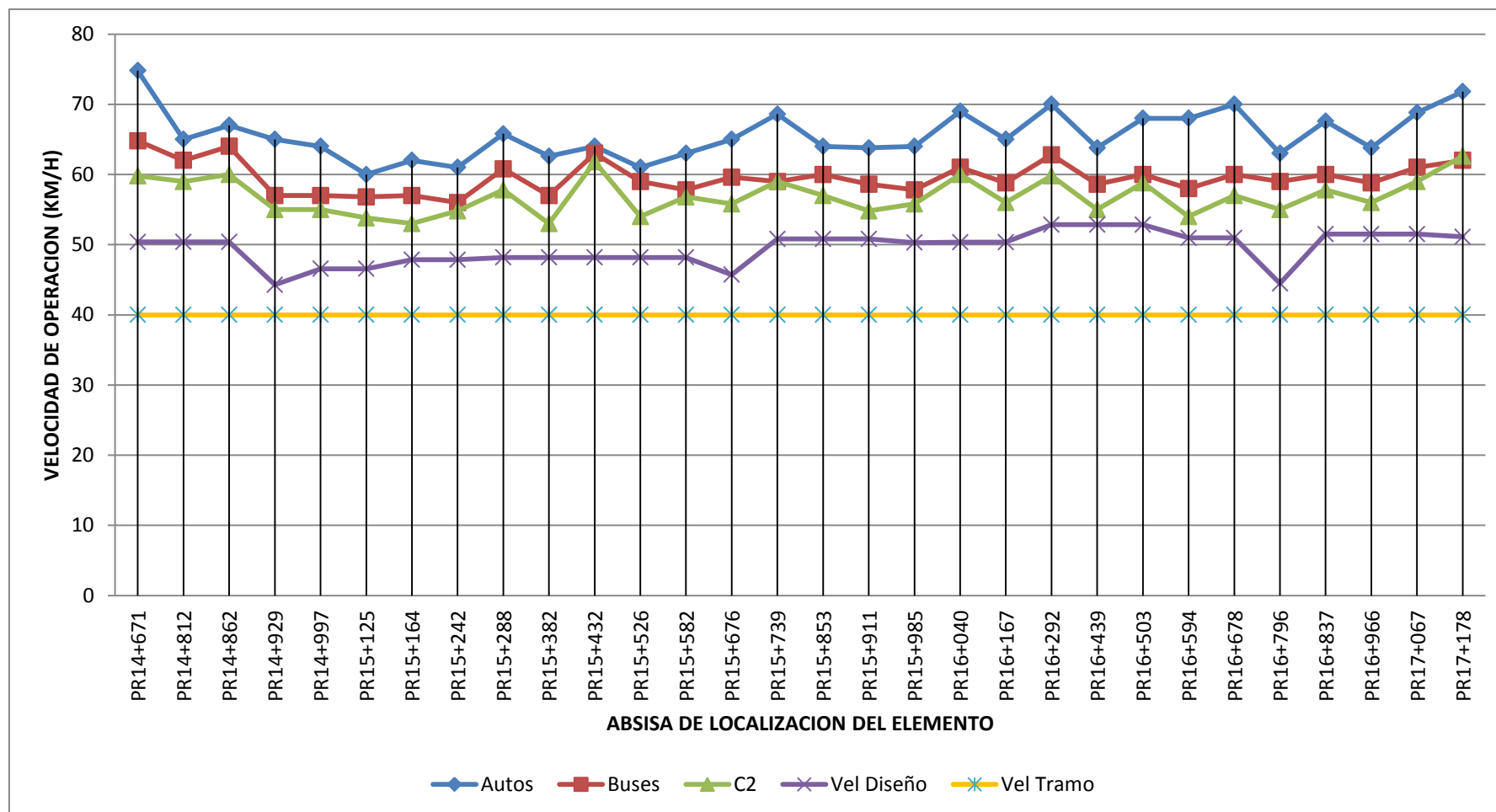
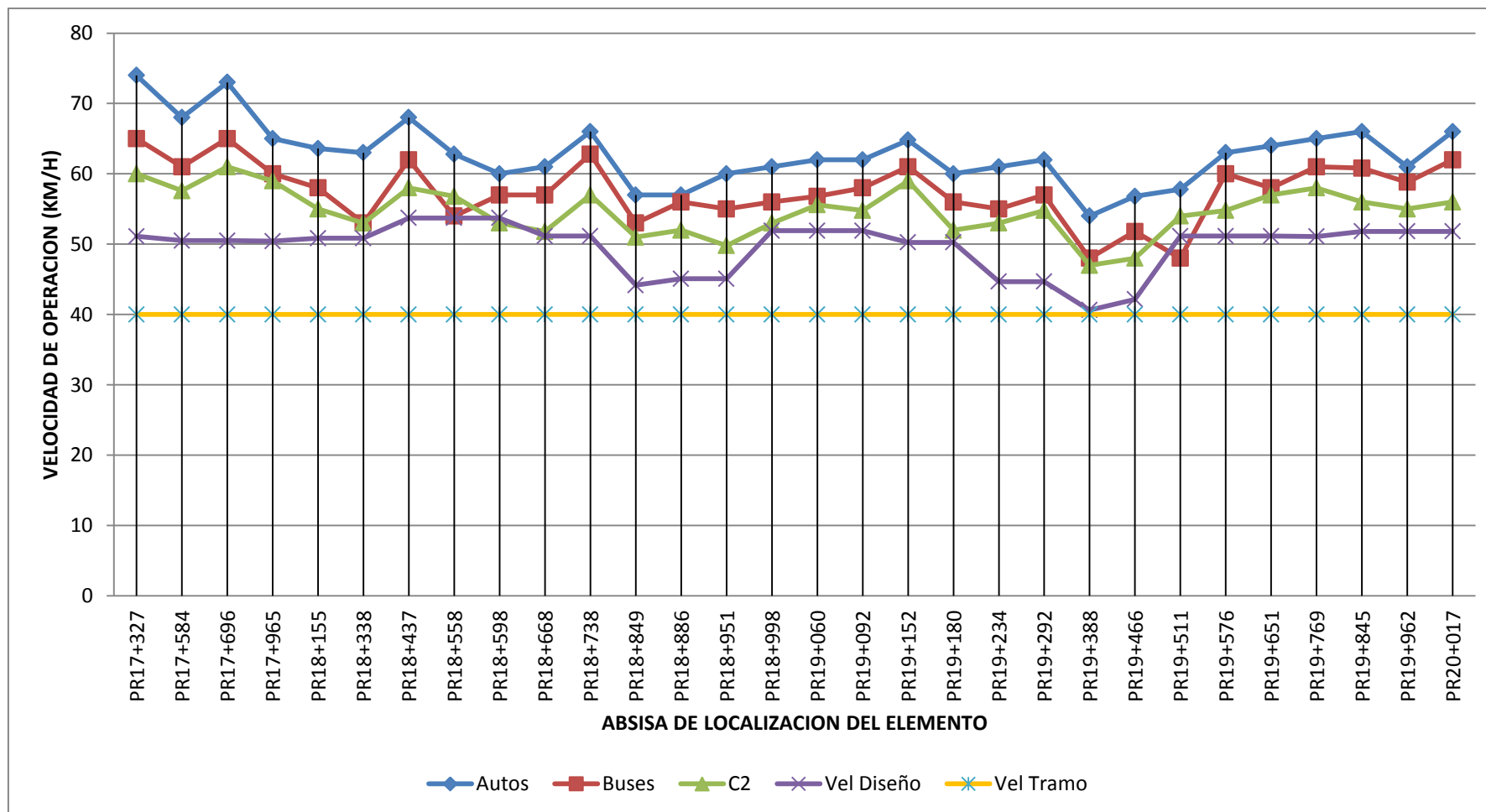


Figura 10. Perfil de velocidad de autos, buses y camiones C2 entre YANALA - SAN JUAN PR14+591 - PR20+000 Sentido S-N



7. ANALISIS DE CONSISTENCIA

7.1 CRITERIO I

Cuadro 17. Análisis de consistencia Criterio I de Lamm

No.	COMPARACION VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN (CRITERIO I)					
	SENTIDO N-S			SENTIDO S-N		
	Autos	Buses	Camiones C2	Autos	Buses	Camiones C2
2	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
3	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE
4	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
5	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
6	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
7	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
8	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
9	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO
10	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
11	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO
12	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO
13	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
14	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
20	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
20	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
21	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
22	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
23	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
24	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
24	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
24	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	BUENO
25	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
26	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
26	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
27	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE
28	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
28	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
28	POBRE	BUENO	ACEPTABLE	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
28	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO

Continuación cuadro 17.

29	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
30	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	BUENO
30	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
31	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
32	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
33	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
34	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
35	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
36	BUENO	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
37	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	BUENO
38	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
39	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	BUENO
40	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
41	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
42	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
43	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
44	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
45	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
46	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	BUENO
47	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
48	BUENO	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
49	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	BUENO	BUENO
50	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
50	POBRE	ACEPTABLE	BUENO	POBRE	POBRE	ACEPTABLE
51	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
52	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
53	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
54	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	BUENO
55	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
56	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
57	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
58	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
59	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
60	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
61	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
62	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
63	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
64	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
65	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
66	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
67	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
68	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
69	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO

Continuación cuadro 17.

70	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
71	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
72	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
73	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
74	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
75	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
76	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
77	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
78	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
79	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
80	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
81	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
82	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
83	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
84	POBRE	ACEPTABLE	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	BUENO
85	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
86	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	POBRE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
87	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
88	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
89	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
90	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
91	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
92	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
93	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
94	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
95	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
96	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
97	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
98	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
99	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
100	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
101	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
102	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
103	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO
104	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
105	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
107	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
108	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
109	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
110	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
111	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO

Continuación cuadro 17.

112	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
113	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
114	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO

7.2 CRITERIO II

Cuadro 18. Análisis de consistencia Criterio II de Lamm

No.	COMPARACION VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN (CRITERIO II)					
	SENTIDO N-S			SENTIDO S-N		
	Autos	Buses	Camiones C2	Autos	Buses	Camiones C2
2	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
3	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
4	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
5	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
6	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
7	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
8	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
9	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
10	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
11	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
12	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
13	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
20	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
21	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
22	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
23	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
24	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
24	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
24	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
25	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
26	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE
26	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
27	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
28	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
28	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
28	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	ACEPTABLE	BUENO

Continuación cuadro 18.

28	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
29	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
30	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
30	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
31	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
32	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
33	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
34	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
35	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
36	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
37	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
38	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
39	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
40	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
41	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
42	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
43	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
44	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
45	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
46	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
47	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
48	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
49	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
50	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
50	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO	BUENO
51	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
52	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
53	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
54	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
55	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
56	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
57	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
58	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
59	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
60	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
61	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
62	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
63	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
64	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
65	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
66	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO

Continuación cuadro 18.

67	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
68	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
69	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
70	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
71	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
72	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
73	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
74	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
75	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
76	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
77	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
78	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
79	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
80	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
81	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
82	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
83	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
84	ACEPTABLE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
85	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
86	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
87	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
88	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
89	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
90	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
91	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
92	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
93	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
94	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
95	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
96	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
97	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
98	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
99	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
100	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
101	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
102	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
103	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
104	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
105	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
107	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
108	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	ACEPTABLE	BUENO

Continuación cuadro 18.

109	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
110	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
111	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
112	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
113	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
114	POBRE	POBRE	POBRE	POBRE	POBRE	POBRE

Cuadro 19. Resumen Análisis de Consistencia

Tramo	Calificación	COMPARACION VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN (CRITERIO I)						COMPARACION VELOCIDAD DE DISEÑO Y OPERACIÓN (CRITERIO II)					
		SENTIDO N-S			SENTIDO S-N			SENTIDO N-S			SENTIDO S-N		
		Autos	Buses	Camiones C2	Autos	Buses	Camiones C2	Autos	Buses	Camiones C2	Autos	Buses	Camiones C2
Rumichaca - Ipiales PR0+200 - PR2+700	BUENO	9	9	11	11	9	11	10	11	12	10	11	11
	ACEPTABLE	3	4	2	2	4	2	2	1	0	2	1	1
	POBRE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ipiales - Las Cruces PR4+000 - PR10+974	BUENO	5	19	18	7	19	18	19	21	19	18	20	20
	ACEPTABLE	14	2	3	11	2	3	2	0	2	3	1	1
	POBRE	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Las cruces - Yanala PR10+974 - PR14+591	BUENO	3	22	25	0	12	16	26	26	26	23	26	26
	ACEPTABLE	21	4	1	11	13	10	0	0	0	3	0	0
	POBRE	2	0	0	15	1	0	0	0	0	0	0	0
Yanala - San Juan PR14+591 - PR20+000	BUENO	24	55	59	7	38	53	58	59	59	59	58	59
	ACEPTABLE	35	5	1	48	22	7	1	0	0	0	1	0
	POBRE	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0

8. DATOS DE ACCIDENTALIDAD RUMICHACA - IPIALES PR0+000 - PR20+000

En el siguiente cuadro se muestran los accidentes ocurridos en el trayecto RUMICHACA - SAN JUAN PR00+000 - PR20+000 desde el año 2010 hasta lo que se lleva del año 2013 suministrados por la Dirección Nacional de Transporte DITRA (ver cuadro 20).

Cuadro 20. Datos de accidentalidad Rumichaca - San Juan PR0+000 - PR20+000 Año 2010-2013

Fecha	Gravedad	Clase	Lugar
14/12/2010	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR1+450
04/04/2010	CON HERIDOS	INCENDIO	PR7+000
04/02/2010	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR11+000
16/01/2010	CON HERIDOS	ATROPELLO	PR12+200
16/01/2010	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR12+300
02/01/2010	CON HERIDOS	CHOQUE	PR18+000
16/05/2010	CON HERIDOS	CHOQUE	PR18+000
02/01/2010	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR18+200
21/06/2011	CON HERIDOS	CHOQUE	PR1+000
03/07/2011	CON HERIDOS	CHOQUE	PR1+000
26/05/2011	CON HERIDOS	VOLCAMIENTO	PR2+000
14/12/2011	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR2+180
07/07/2011	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR5+000
18/02/2011	CON HERIDOS	CHOQUE	PR5+185
15/12/2011	CON HERIDOS	CHOQUE	PR5+185
11/07/2011	CON HERIDOS	CAIDA OCUPANTE	PR7+787
07/08/2011	CON HERIDOS	CHOQUE	PR8+100
16/02/2011	SOLO DAÑOS	CHOQUE	PR11+300
14/11/2011	CON MUERTOS	VOLCAMIENTO	PR18+900
13/12/2011	CON MUERTOS	CHOQUE	PR19+650
26/03/2012	CON HERIDOS	INCENDIO	PR2+180
29/03/2012	CON HERIDOS	CHOQUE	PR2+180
26/05/2012	CON HERIDOS	CHOQUE	PR8+188
16/01/2012	CON HERIDOS	CHOQUE	PR14+070

Continuación cuadro 20.

22/04/2012	CON HERIDOS	CAIDA OCUPANTE	PR16+181
06/01/2013	CON MUERTOS	CHOQUE	PR13+800
25/05/2013	CON MUERTOS	CHOQUE	PR16+400
14/03/2013	CON HERIDOS	CHOQUE	PR18+600

Los anteriores datos sirven como parámetro y base junto con el presente estudio para comparar aquellos sitios que presentan mayores índices de accidentalidad con aquellos lugares o elementos que presenta inconsistencias o excesos en la velocidad de operación o también grandes variaciones de velocidad al transitar de un elemento a otro.

9. ANALISIS DE RESULTADOS

9.1 TRAMO RUMICHACA - IPIALES PR0+200 - PR2+700

Este tramo vial de 2,700 km de longitud está compuesto por 13 elementos se caracteriza por el predominio de terreno montañoso.

Mediante el presente estudio de velocidad y análisis de consistencia permite observar el cambio entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación (diferencia no mayor a 20 Km/h). Se puede observar que la circulación de autos, buses y camiones en la mayor parte del recorrido no sobrepasan los 20 Km/h respecto a la velocidad de diseño tan solo en el elemento No 9 PR1+570 en el sentido N-S los autos sobrepasa los 20 Km/h.

Según el análisis de elementos consecutivos en ninguna parte del recorrido tanto en sentido N-S como en sentido S-N la velocidad de operación sobrepasa los 20 KPH, manteniendo cambios menores a 10 Km/h lo que representa una buena consistencia.

9.2 TRAMO IPIALES - LAS CRUCES PR4+000 - PR10+974

Este tramo vial de 6,974 km de longitud está compuesto por 10 elementos, se caracteriza por el predominio de terreno ondulado y la presencia de grandes tangencias.

Mediante el presente estudio se pudo establecer que aunque presenta tangencias con grandes longitudes, la velocidad de operación resultante mediante el percentil 85 no era la esperada se preveía velocidades que sobrepasen los 80 Km/h que con el diseño geométrico del tramo era fácil de obtener, sin embargo se puede observar que tan solo en el sentido N-S los elementos 28 y el sentido S-N los elementos 24 y 28 la velocidad de operación de los autos sobrepasan los 20 Km/h respecto a la velocidad de operación.

Según el análisis de elementos consecutivos en ninguna parte del recorrido tanto en sentido N-S como en sentido S-N la velocidad de operación sobrepasa los 20 Km/h, manteniendo cambios menores a 10 Km/h lo que representa una buena consistencia.

9.3 TRAMO LAS CRUCES – YANALA PR10+974 – PR14+591

Este tramo vial de 3,617 km de longitud está compuesto por 23 elementos y se caracteriza por el predominio de terreno montañoso.

En este tramo vial la velocidad de operación de los automóviles es mucho mayor a la de los buses y por último se encuentran los camiones C2, la anterior situación se presenta en ambos sentidos de operación N-S y S-N.

En el sentido S-N se presenta una pendiente descendente debido a esto los automóviles, buses y camiones C2 circulan a mayor velocidad en comparación a los vehículos que transitan en sentido N-S que presenta una pendiente ascendente.

En la mayor parte del recorrido la velocidad de operación de los automóviles, buses y camiones C2 sobrepasa la velocidad de diseño del elemento lo que quiere decir que no atiende las exigencias actuales de velocidad de operación que son mayores para las que fue diseñado el tramo de vía. Lo anterior se puede demostrar con el análisis de consistencia realizado el cual nos muestra que existen 15 elementos que presentan una consistencia inadecuada o pobre con respecto a la velocidad de operación de los vehículos.

El análisis de consistencia realizado también quiere decir que en este tramo vial los conductores no se ven enfrentados a realizar maniobras de riesgo y no existen cambios bruscos de velocidad entre elementos consecutivos.

9.4 TRAMO YANALA – SAN JUAN PR14+591 – PR20+000

Este tramo vial de 5,409 km de longitud está compuesto por 60 elementos y se caracteriza por el predominio de terreno montañoso.

En este tramo vial la velocidad de operación de los automóviles es mucho mayor a la de los buses y por último se encuentran los camiones C2, la anterior situación se presenta en ambos sentidos de operación N-S y S-N.

En la mayor parte del recorrido la velocidad de operación de los automóviles, buses y camiones C2 sobrepasa la velocidad de diseño del elemento lo que quiere decir que no atiende las exigencias actuales de velocidad de operación que son mayores para las que fue diseñado el tramo de vía.

El análisis de consistencia realizado también quiere decir que en este tramo vial los conductores no se ven enfrentados a realizar maniobras de riesgo y no existen cambios bruscos de velocidad entre elementos consecutivos.

10. CONCLUSIONES

La velocidad de operación de los conductores es superior a la velocidad de diseño en la mayor parte del tramo estudiado, lo que significa que este tramo vial en su mayor parte no atiende los requerimientos de velocidad que tienen los conductores actualmente. Sin embargo, teniendo en cuenta que el tramo de vía analizado fue construido y diseñado hace aproximadamente cuarenta años y que a pesar que existen algunos sitios donde la consistencia no es adecuada, los vehículos pueden desplazarse a velocidades entre 40 y 87 KPH a lo largo del tramo vial, que quiere decir que el trazado es relativamente bueno y funcional de acuerdo a las características del terreno y necesidades de movilidad actuales. Se puede decir que el conductor se puede adaptar adecuadamente al trazado del tramo manteniendo una velocidad de operación aceptable mayor a la velocidad de diseño en gran parte del tramo, con cierto nivel de confianza.

Al realizar el perfil de velocidades y el análisis de consistencia se puede observar la diferencia que existe a lo largo del tramo vial, entre la velocidad de operación y la velocidad de diseño, especialmente en la velocidad de operación de los automóviles. Lo anterior constituye un factor de riesgo para la seguridad vial del sector, siendo necesario proponer medidas y realizar estudios más profundos en cuanto a variables geométricas y factores externos alrededor de la vía, y de esta forma garantizar la seguridad vial del sector.

En el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 en la tabla 2.1, se establecen los valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno; al verificar las velocidades de diseño de cada uno de los elementos del tramo en estudio se puede observar que no cumplen con la normatividad establecida como por ejemplo:

La velocidad de diseño del tramo comprendido entre Rumichaca – Ipiales PR0+200 – PR2+700 es de 50 km/h valor que esta 10 km/h por debajo del valor requerido según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 para carreteras primarias de una calzada y terreno montañoso la velocidad de diseño debe estar entre 60 y 90 km/h.

La velocidad de diseño del tramo comprendido entre Ipiales – Las Cruces PR4+000 – PR10+974 es de 50 km/h valor que esta 20 km/h por debajo del valor requerido según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 para carreteras primarias de una calzada y terreno ondulado la velocidad de diseño debe estar entre 70 y 100 km/h.

La velocidad de diseño del tramo comprendido entre Las Cruces – Yanala PR10+974 – PR14+591 es de 50 km/h valor que esta 10 km/h por debajo del valor requerido según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 para carreteras primarias de una calzada y terreno montañoso la velocidad de diseño debe estar entre 60 y 90 km/h.

La velocidad de diseño del tramo comprendido entre Yanala – San Juan PR14+591 – PR20+000 es de 40 km/h valor que esta 20 km/h por debajo del valor requerido según el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 para carreteras primarias de una calzada y terreno montañoso la velocidad de diseño debe estar entre 60 y 90 km/h.

En el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 el literal 2.1.1 Criterios generales para establecer la consistencia de la velocidad a lo largo del trazado de la carretera, dice: “En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido”. Con respecto a lo anterior y basándose en el perfil de velocidades de operación y en el análisis de consistencia realizado se puede observar la diferencia entre velocidades de operación entre elementos consecutivos es pequeña lo que significa que en el tramo de vía los conductores no se ven enfrentados a realizar maniobras de riesgo y no existen cambios bruscos de velocidad entre elementos consecutivos. Lo anterior se puede verificar en los resultados del estudio que según el criterio II de Lamm del análisis de consistencia se puede observar que ninguno de los 114 elementos analizados presenta consistencia pobre, tanto en sentido N-S como en sentido S-N.

En el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 el literal 2.1.3 Velocidad Específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil, dice: “La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su Velocidad Específica y es con la que se debe diseñar ese elemento.”. Con respecto a lo anterior y basándose en el análisis de velocidades realizado se puede observar:

En el sentido N-S del total de 114 elementos que componen el tramo vial en 110 elementos la velocidad de operación de los automóviles sobrepasa la velocidad específica a la que fue diseñado el elemento.

En el sentido S-N del total de 114 elementos que componen el tramo vial en 108 elementos la velocidad de operación de los automóviles sobrepasa la velocidad específica a la que fue diseñado el elemento.

De lo anterior, se puede concluir que la velocidad específica no es la velocidad más probable con la que un elemento pueda ser abordado y que las exigencias

actuales de velocidad de operación son mayores para las que fue diseñado el tramo de vía.

En el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS 2008 el literal 2.1.3 Velocidad Específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil, dice: "Estudios de velocidad en carreteras realizados en países con idiosincrasia similar a la colombiana, han establecido que la gran mayoría de los conductores, dependiendo de la percepción del trazado que tienen adelante, incrementan su velocidad respecto a la velocidad de diseño del tramo, hasta en veinte kilómetros por hora (20 km/h)". Con respecto a lo anterior y basándose en el análisis de velocidades realizado se puede observar:

En el sentido N-S del total de 114 elementos que componen el tramo vial en 34 elementos la velocidad de operación de los automóviles sobrepasa en 20km/h a la velocidad de diseño del tramo. Debido a la topografía del terreno, al trazado geométrico en el que predomina pendientes ascendentes y a las condiciones externas de la vía las velocidades a las que se desplazan los vehículos no son muy altas.

En el sentido S-N del total de 114 elementos que componen el tramo vial en 75 elementos la velocidad de operación de los automóviles sobrepasa en 20km/h la velocidad de diseño del tramo. Debido a lo anterior, a la topografía del terreno, al trazado geométrico de la vía en el que predomina pendientes descendentes y a las condiciones externas de la misma se puede concluir que la afirmación que la velocidad de diseño de un tramo homogéneo es superada hasta en 20 km/h no es totalmente válida y que las velocidades a las que se desplazan los vehículos son altas.

El presente estudio permitió obtener los perfiles de velocidad a lo largo del tramo vial en cada una de las categorías analizadas (Vehículos, Buses y Camiones C2) lo que muestra el comportamiento de los conductores y los factores que afectan las velocidades de operación a lo largo del tramo, permitiendo ubicar puntos críticos susceptibles de accidentalidad y con el análisis de consistencia identificar inconsistencias del trazado geométrico. Según lo anterior la utilidad principal de los perfiles de velocidad obtenidos y del análisis de consistencia realizado es la identificación de puntos críticos en seguridad vial ya sea por excesos en la velocidad de operación o por grandes variaciones de la velocidad al transitar de un elemento a otro. Utilizando esta información se podrá proyectar mejoramiento de elementos con aspectos geométricos con problemas y deficiencias, implementación o mejoramiento de la señalización vial a lo largo del tramo o cualquier alternativa que mejore y garantice la seguridad vial del sector.

Según los resultados del estudio, los perfiles de velocidad obtenidos y las observaciones hechas en campo muestran que los dispositivos de seguridad vial existentes a lo largo del tramo vial usados para disminuir o regular la velocidad de los

vehículos en su mayoría son ignorados y evadidos por los conductores por lo tanto se deben implementar otro tipo de medidas para poder regular y disminuir la velocidad de los conductores y de esta manera garantizar la seguridad vial del sector.

Para que el presente estudio fuese más detallado y adecuado en algunas entretangencias donde su longitud sobrepasaba los 400 m, existían intersecciones o algún otro aspecto que interrumpía el flujo normal de los vehículos se hizo necesario más de un muestreo o toma de velocidades puesto que existían grandes variaciones de velocidades dentro del mismo elemento y eran necesario registrarlas en el estudio.

Los elementos No. 15, 16, 17, 18, 19 están localizados dentro del casco urbano del Municipio de Ipiales PR2+700 – PR4+000 por lo tanto en estos elementos no se pudo llevar acabo el estudio de velocidad de operación.

Hace algún tiempo se llevó a cabo un mejoramiento en el tramo vial que incluyo la ampliación y sobreancho en una curva del mismo, exactamente en el elemento No. 107 del presente estudio. Al realizarse este mejoramiento el eje de la vía se corrió lo que redujo casi en su totalidad la longitud de la entretangencia anterior exactamente el elemento No. 106 del presente estudio. Según lo anterior no se pudo llevar acabo el estudio de velocidad en dicho elemento.

El elemento No. 21 que corresponde a la curva entre el PR6+912 – PR7+077 es una curva la cual tiene un radio de 3046,28 m un peralte de 2,5% y una deflexión de $3^{\circ} 7'$ y según el cuadro 14. Radios (R_c) según velocidad específica (V_{CH}) y peraltes (e) para $e_{m\acute{a}x}= 8\%$ y siguiendo el procedimiento anteriormente mencionado se obtuvo una velocidad especifica del elemento de 129,87 Km/h. Este elemento no se tuvo en cuenta en el análisis de velocidades debido que esta curva presenta una deflexión muy pequeña y un radio muy amplio por lo tanto tiende a ser una recta y además esta velocidad no representa las condiciones para las que fue diseñada la vía.

11. RECOMENDACIONES

Auditar la realización de más estudios y la utilización de otras metodologías con las que se analice otros aspectos de la consistencia vial o en las que se mejore el presente estudio como estudios de distancias de visibilidad, curvas verticales, entre otros; puesto que la consistencia vial es un concepto muy amplio y un tema que implica más criterios; el presente estudio solamente abarca la evaluación con respecto a un estudio de velocidades de operación de los vehículos.

Tener en cuenta dentro del estudio los puntos críticos y elementos inconsistentes del tramo vial, ya sea por excesos en la velocidad de operación o por grandes variaciones de velocidad al transitar de un elemento a otro; estos puntos o elementos necesitan un mejoramiento en cuanto aspectos geométricos o simplemente la implementación o mejoramiento de dispositivos para el control de la velocidad, se recomienda a la entidad que correspondiente mejorar las condiciones de seguridad y comodidad de la vía.

Realizar estudios similares al presente en los 83 km que componen la Vía Panamericana o Ruta 25 Pasto - Ipiales para así poder detallar el comportamiento de los conductores y las variaciones de la velocidad de operación a lo largo de toda la vía para de esta manera poder identificar las inconsistencia de la misma y también los puntos críticos y de accidentalidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, Washington, D.C, 1984.

ARBOLEDA VELEZ, Carlos y RIVAS MUÑOZ, Nelson. Conferencias de Ingeniería de tránsito. Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Vías y Transporte Popayán: Universidad del Cauca, 2005

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

CAL y MAYOR, R, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones. México: Alfaomega, 1998.

EWING, R. Traffic Calming Impacts. In Traffic Calming: State and Practice. Washington, D.C: Institute of Transportation Engineers, 1999.

GARBER, Nicholas J y HOEL, Lester A. Ingeniería de Tránsito y Carreteras. 3ª ed. México, D.F: s.n. 2005.

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

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS. 2008.

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

PEREZ ZURIAGA, Ana, et al. 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. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2011.

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

Transportation Research Circular. Modeling Operating Speed. Washington, D.C, July 2001.