

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y LOS NIVELES DE SERVICIO DE LAS
VÍAS NACIONALES QUE CONECTAN A PAMPLONA CON EL RESTO DEL PAÍS



DAVID FERNANDO CHAPARRO PRIETO
CRISTHIAN FERNANDO PRADA MORENO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, QUÍMICA Y AMBIENTAL
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
PAMPLONA
2017

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y LOS NIVELES DE SERVICIO DE LAS
VÍAS NACIONALES QUE CONECTAN A PAMPLONA CON EL RESTO DEL PAÍS

CRISTHIAN FERNANDO PRADA MORENO
DAVID FERNANDO CHAPARRO PRIETO

Tesis como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director
ING. EDGAR PEREZ FLOREZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, QUÍMICA Y AMBIENTAL
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
PAMPLONA
2017

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DE PRESIDENTE DE JURADO

FIRMA DE JURADO

FIRMA DE JURADO

Pamplona Norte De Santander mayo de 2017.

Contenido

	Págs.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	4
1. TITULO	4
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.4 GENERALIDADES DEL ESTUDIO	7
1.4.1 Alcance y condiciones del estudio	7
1.4.2 Estado del estudio	8
1.4.3 Estado general de las vías.....	9
CAPITULO II	18
2. MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1. ANTECEDENTES.....	18
2.2 MARCO TEÓRICO	18
2.3. MARCO CONTEXTUAL	20
2.4. MARCO LEGAL.....	21
2.5. GLOSARIO	22
CAPITULO III	28
3. METODOLOGIA	28
3.1. MÉTODO DEL INVIAS	29

3.1.1. Calculo de capacidad.....	29
3.1.2. Determinación del nivel de servicio.....	33
3.2. MÉTODO DEL HCM (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2010).....	44
3.2.1. Capacidad.....	46
3.2.2. Nivel de servicio.....	46
CAPITULO IV.....	71
4. DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS.....	71
4.1. DATOS EN CAMPO	71
4.1.1. Características geométricas	71
4.1.2. Características del transito	76
4.3. CALCULOS	82
4.3.1. Calculo de capacidad y niveles de servicio por el método colombiano implementado por el instituto nacional de vías (INVIAS)	82
4.3.2. Calculo de capacidad y niveles de servicio por el método HCM 2010 implementado por el departamento de transporte de la Florida (FDOT).	99
4.3.3. Proyecciones del tpd para determinación de la capacidad y nivel de servicio de las rutas de estudio a cinco años.....	148
4.3.4. Determinación de capacidad y niveles de servicio para las tres vías nacionales basadas en volúmenes de proyecciones a cinco años.....	153
4.4. RESULTADOS	167
4.4.1. Resultados del método colombiano	167
4.4.2. Análisis resultados método colombiano.....	167
4.4.3. Resultados del método HCM 2010	171
4.4.4 Análisis resultados método HCM 2010.....	172

CONCLUSIONES176
RECOMENDACIONES179
BIBLIOGRAFÍA.....181

LISTADO DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Tramos Ruta 55	11
Tabla 2. Tramos Ruta 66	12
Tabla 3. Pendientes	74
Tabla 4. Datos de entrada Método Colombiano La Don Juana.	82
Tabla 5. Datos de entrada Método Colombiano Pamplona- Berlin.	86
Tabla 6. Datos de entrada Método Colombiano Pamplona- La Lejía.....	89

LISTADO DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Mapa Vial Territorial 18 Norte de Santander.....	14
Figura 2. Ubicación de Estaciones de Conteo.	15
Figura 3. Rutas con Abscisado en los Sectores Críticos.	16
Figura 4. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (F_{pe})	30
Figura 5. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (F_d)	31
Figura 6. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb}).....	31
Figura 7. Factores correlación a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (F_p).....	32
Figura 8. Factor de hora pico (FHP)	33
Figura 9. Nivel Funcional Superficie de Rodadura.....	34
Figura 10. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendiente ascendente (V_i).....	36
Figura 11. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto de la utilización de la capacidad (F_u)	37
Figura 12. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (F_{sr}).....	37
Figura 13. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb})	38
Figura 14. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (F_{p1})	39
Figura 15. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados (F_{p2}).....	43
Figura 16. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada de sector (V_c) ...	43
Figura 17. Velocidades en km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno (V_c).....	44

Figura 18. Niveles de Servicio HCM 2010	47
Figura 19. Datos de Entrada HCM 2010	51
Figura 20. Factor de Ajuste Por ancho de Carril y Berma (Fls)	53
Figura 21. Factor de Ajuste por Puntos de Acceso (fA)	54
Figura 22. Factor de Ajuste por Pendiente Fg Terreno Plano Ondulado y Descensos Específicos VPV.	56
Figura 23. Factor de Ajuste por Pendiente Fg Ascensos Específicos VPV.	57
Figura 24. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Pesados y Recreacionales en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos VPV.	59
Figura 25. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Recreacionales en Ascensos Específicos para Er VPV.	60
Figura 26. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Pesados Et en Ascensos Específicos para VPV.	61
Figura 27. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados a Velocidad de Régimen Etc en Descensos Específicos para VPV.	62
Figura 28. Factor de Ajuste por Porcentaje de Zonas de no Adelantamiento Fnp para VPV.	64
Figura 29. Factor de Ajuste por Pendiente Fg en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos para PTSF.....	66
Figura 30. Factor de Ajuste por Pendiente Fg en Ascensos Específicos para PTSF.	66
Figura 31. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados y Recreacionales en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos PTSF.	67
Figura 32. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados en Ascensos Específicos PTSF.	67
Figura 33. Calculo de las constantes a y b para PTFB.	68
Figura 34. Calculo de Fnp PTSF.....	69
Figura 35. Levantamiento Vista en Planta Vía Pamplona-Cúcuta	71
Figura 36. Levantamiento Vista en Planta Vía Bucaramanga-Pamplona	72

Figura 37. Levantamiento Vista en Planta Vía Chitaga-Cúcuta	72
Figura 38. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.....	80
Figura 39. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.....	81
Figura 40. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.....	81
Figura 41. Hoja de Trabajo Método Colombiano.	95
Figura 42. Hoja de Trabajo Método Colombiano	96
Figura 43. Hoja de Trabajo Método Colombiano.	97
Figura 44. Hoja de Trabajo Método Colombiano.	98
Figura 45. Niveles de Servicio HCM 2010 vías Clase I.....	99
Figura 46. Datos de Entrada HCM 2010.....	99
Figura 47. Datos Obtenidos por Figura.....	100
Figura 48. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.....	103
Figura 49. Datos Obtenidos Por Figura.	103
Figura 50. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	106
Figura 51. Datos Obtenidos por Figura Para VPV	108
Figura 52. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.....	111
Figura 53. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	111
Figura 54. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	114
Figura 55. Datos de Entrada HCM 2010.....	116
Figura 56. Datos Obtenidos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.....	117
Figura 57. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.....	119
Figura 58. Datos para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	120
Figura 59. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	123
Figura 60. Datos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.	124
Figura 61. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.....	127
Figura 62. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	128
Figura 63. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	131
Figura 64. Datos de Entrada HCM 2010.....	132
Figura 65. Datos Obtenidos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.....	133

Figura 66. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.....	136
Figura 67. Datos para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento	136
Figura 68. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	139
Figura 69. Datos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.	140
Figura 70. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.....	143
Figura 71. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	144
Figura 72. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.	147
Figura 73. Análisis Datos Históricos TPD.	150
Figura 74. Análisis Datos Históricos TPD.	150
Figura 75. Análisis Datos Históricos TPD.	151
Figura 76. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.....	151
Figura 77. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.....	152
Figura 78. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.....	152
Figura 79. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES).....	154
Figura 80. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES).....	158
Figura 81. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES).....	162

LISTADO DE ANEXOS

	Págs.
Anexo A. Estado actual de la vía Pamplona- La Don Juana	184
Anexo B. Estado actual de la vía Pamplona- Berlín	185
Anexo C. Estado actual de la vía Pamplona- La Lejía.....	186
Anexo D. Abscisado inicial y final	187
Anexo E. Ancho de calzada.....	190
Anexo F. Ancho de bermas	193
Anexo G. Puntos de acceso	196
Anexo H. Estado superficie de rodadura	201
Anexo I. Formato Aforos.....	204
Formato J. Velocidades	205
Anexos K. Digitales.....	206

DEDICATORIA

Primera y ante todo, a Dios por darnos la fortaleza para no desfallecer ante las adversidades que este camino siempre difícil y largo interpuso ante nosotros.

DEDICATORIA CRISTHIAN PRADA:

A mis padres Gertrudis Moreno Pinto y Expedito Prada Camaecho quienes han sido siempre mi inspiración para crecer y superarme, este logro es la mitad gracias a mi esfuerzo y la otra a ustedes que nunca dejaron de crecer y apoyarme.

A mis 3 hermosas hermanas Yarlén, Erika, Kathérin quienes siempre supieron ser cómplices y compañeras, gracias a ustedes pude sortear aquellos momentos donde parecía desfallecer no olviden que el amor de familia siempre será el único verdadero y completo.

A Danna Fuentes mi novia quien ha sabido ser paciente en este proceso siempre dispendioso y requerente de mi tiempo, gracias amor por esperar y acompañar mis pasos.

A nuestro asesor y amigo Ing. Edgar Pérez Flores quien dentro de nuestra formación siempre resaltó nuestras cualidades y confió en nuestras capacidades.

A nuestros compañeros, baluarte especial en cada cátedra y testigos silenciosos de nuestra formación.

DEDICATORIA DAVID CHAPARRO:

A mis padres Martha Rebeca Prieto Palacios y José Reinaldo Chaparro Muñoz quienes fueron y serán la inspiración para crecer y superarme. Ellos gracias a su ejemplo, perseverancia y apoyo para conmigo hicieron de este recorrido uno al cual ponerle todo el empeño y esfuerzo. Y para quienes ningún porcentaje de gratitud será suficiente para demostrar el sentimiento real que el alma desea expresarles. Gracias Totales.

A mis hermanos Lizhet, Eduard y Leonardo por ese apoyo incondicional, por ser cómplices, escuchar y compartir cada experiencia conmigo, por ser ellos un desahúe para los problemas.

A mi novia Sara Arciniegas quien con su compañía hizo más llevadero el viaje. Gracias por tu paciencia y comprensión en esos momentos que más necesitaba de tu atención.

A nuestro asesor y amigo Ing. Edgar Pérez Flores quien dentro de nuestra formación siempre resaltó nuestras cualidades y confió en nuestras capacidades.

A nuestros compañeros, baluarte especial en cada cátedra y testigos silenciosos de nuestra formación.

AGRADECIMIENTOS

ING Edgar Pérez (Director Semillero SEVIAL.) Flores por ser nuestro director y principal colaborador en este proceso de trabajo y aprendizaje. Pues sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de este documento.

Director Semillero SEVIAL.

ING Manuel Contreras. (Director De Programa) Por su apoyo indirecto en el proceso de aprendizaje, sus correcciones, concejos y palabras, que en su momento fueron necesarias.

EST. FRANCISCO GERALDINO. (Estudiante de Ingeniería De Sistemas Decimo Semestre.) Por su dirección en el área de sistematización de procesos informáticos en el producto de este documento y de años de trabajo.

SEMILLERO SEVIAL Y SUS INTEGRANTES. Ellos que por su apoyo facilitaron de manera sobresaliente el arduo trabajo que se requería para el proyecto esperando recibir únicamente conocimiento y experiencias.

RESUMEN

En las Vías Nacionales que conectan a Pamplona y Norte de Santander con el centro del país y este a su vez con Venezuela se presentan distintos factores que afectan de manera significativa los flujos que en estas transitan, generando así considerables pelotones (grupo de vehículos restringidos por un vehículo desplazándose a baja velocidad), que se restringen aún más por las condiciones deficientes de las mismas, estas circunstancias afectan de forma significativa el tránsito de vehículos que al hacer uso de la Ruta 66 tramo 03 en el sector (PR 119+000-124+000) y la Ruta 55 tramo 05 en los sectores (PR 65+000-68+000) y (PR 71+000-74+000) ven la calidad de su flujo reducido obteniendo de esta manera condiciones críticas para el tránsito de este tramo en los sectores ya especificados.

Este documento presenta un análisis de cómo reaccionan las vías a estos factores y como están en cuanto a transitabilidad en condiciones reales partiendo de los análisis establecidos por el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) y el Manual de Capacidad Vial de Estados Unidos en su versión del 2010 también, se presentan las proyecciones a cinco años para los tres sectores en estudio. Igualmente, el documento presenta el paso a paso y todas las consideraciones a tener en cuenta para la aplicación de los métodos de manera que sea entendible por cualquier persona que se mueva en el campo de la Ingeniería de Tránsito y quiera profundizar en los temas y como deben tomarse los datos, es decir, las mediciones de campo para la determinación de los niveles de servicio y la capacidad.

Palabras Claves: Nivel de Servicio, Capacidad y Flujo Vehicular.

ABSTRACT

In the National Roads that connect Pamplona and Norte de Santander with the center of the country and this in turn with Venezuela different factors are presented that significantly affect the flows in these transit, generating considerable platoons (group of vehicles restricted by A vehicle moving at low speed), which are further restricted by the poor conditions of the same, these circumstances significantly affect the traffic of vehicles that when using Route 66 section 03 in the sector (PR 119 + 000- 124 + 000) and Route 55 section 05 in the sectors (PR 65 + 000-68 + 000) and (PR71 + 000-74 + 000) see the quality of their reduced flow thus obtaining critical conditions for the transit of This stretch in the sectors already specified.

This document presents an analysis of how the pathways of these factors react and how they are in terms of the transition in the real conditions of the analyzes established by the National Institute of Roads (INVIAS) and the Manual of Road Capacity of the United States in its version Also, the five-year projections for the three sectors under study are presented. Likewise, the document presents the step one step and all considerations a take into account for the application of the methods so that the sea can be understood by anyone who moves in the field of traffic engineering and wants to delve into the issues and How data should be taken, ie the field measurements for the determination of service levels and capacity.

Keywords: Levels of Service, Capacity and Vehicle Flow.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de profundizar en diferentes problemáticas nos lleva al análisis de diferentes factores con el fin de obtener un diagnóstico que finalmente nos dará la posibilidad de vislumbrar soluciones. En la presente investigación hemos encontrado que Pamplona carece de información sobre las características geométricas de sus Vías de conexión Nacional tal es el caso de la Ruta 66 tramo 03 en el sector (PR 119+000-124+000) y la Ruta 55 Tramo 05 en los sectores (PR 65+000-68+000) y (PR71+000-74+000) por lo tanto para el desarrollo de la misma se debió hacer un inventario sobre las condiciones actuales y un levantamiento topográfico que nos diera sus características geométricas. Por otro lado no se conoce datos detallados del tipo de tránsito y volumen del mismo, por lo que se hace necesario este estudio para determinar su capacidad y presentar un diagnóstico de los fenómenos que se visualicen en estas vías pues estas afectan directamente al usuario como elemento más importante del sistema vial. Igualmente lo que se podría lograr es dar paso a posteriores estudios de planes de intervención o tratamiento de las vías para mejorar sus condiciones y por otro lado se deja un estudio serio que puede servir de referencia para evaluar el impacto de intervenciones futuras en los tramos estudiados.

Las Vías que convergen a la Ciudad de Pamplona representan muy bien las características de las carreteras de dos carriles en topografía de montaña; que son en su mayoría las que recorren nuestro país, pues las grandes ciudades de la Nación están asentadas sobre la Zona Andina, este factor de posicionamiento de las vías es de vital importancia para el alineamiento de estas.

Este tipo de vías que en su mayoría fueron construidas con normas antiguas, hoy en día son obsoletas para las necesidades y los tipos de vehículos que han surgido, donde el aumento de velocidad es un factor determinante ya que el progreso y la tecnología hacen más alta la demanda de velocidad en Vías Nacionales. las

especificaciones técnicas buscan mejorar la transitabilidad de la vía en aspectos como radios, anchos de calzada y tramos rectos que hagan más cómoda la transitabilidad haciéndola más segura y eficaz en todos los sentidos.

En este documento se presenta la metodología y la forma correcta para determinar los niveles de servicio en vías rurales de dos carriles que conectan a Pamplona con el resto del País, teniendo en cuenta todo el trabajo que esto implica y siguiendo estrictamente los alineamientos presentados en las metodologías propuestas por el INVIAS (Instituto Nacional de Vías) y la HCM 2010(Highway Capacity Manual 2010) del “Transportation Research Board” (TRB) de Estados Unidos quien es pionera en el ámbito de la Ingeniería de Tránsito y de las entidades más antiguas y de más respeto en el área de investigación.

Es importante considerar que las metodologías propuestas tienen en cuenta para su desarrollo variables un poco diferentes una de otra a pesar que el Método Colombiano está fundamentado en los parámetros establecidos por la Norma Estadounidense, sin embargo esta se basa en las condiciones actuales y prevalecientes de las vías colombianas pues en Estados Unidos es mucho más sencillo proyectar alineamientos adecuados con pendientes bajas y factores geométricos ideales que favorecen los niveles de servicio de una vía. Ambas llegan a un resultado que en algunos casos es igual o semejante; esto nos permite trazar un paralelo entre la metodología colombiana y la utilizada por la mayoría de países de esta parte del mundo influenciados por los Estados Unidos.

La capacidad, es otro parámetro que se tendrá en cuenta y que nos permite determinar cómo están funcionando con respecto a la demanda y oferta vial por medio de relaciones de datos y variables en función de estas. Esta información es introducida debido al comercio y tránsito generado o atraído por los diferentes aspectos de la Ciudad, así como el grado de saturación presente que puede verse

en los pelotones presentados en las vías en horas pico que se generan también por el tráfico pesado.

Todo este procedimiento está regido por los datos inmediatos de las vías en cuestión, la toma de estos datos es fundamental, es decir información como anchos de calzada, anchos de berma utilizable, números de accesos y demás factores condicionantes no pueden ser tomados a la deriva, igualmente que los aforos vehiculares, pues la sintetización de esta información decisiva para una aplicación precisa de los métodos.

CAPITULO I

1. TITULO

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y LOS NIVELES DE SERVICIO DE LAS VÍAS NACIONALES QUE CONECTAN A PAMPLONA CON EL RESTO DEL PAÍS

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Determinar la Capacidad y los Niveles de Servicio de las vías Nacionales que comunican a Pamplona con el resto del País en los sectores Ruta 66 tramo 03 en el sector (PR 119+000-124+000) y la Ruta 55 tramo 05 en los sectores (PR 65+000-68+000) y (PR71+000-74+000).

1.1.2 Objetivos Específicos

- ❖ Realizar aforos para medir los volúmenes de tránsito clasificando todas sus características durante 7 días para la Ruta 55 tramo 05 y Ruta 66 tramo 03 en los sectores especificados de las dos Vías Nacionales que convergen a la ciudad de Pamplona.
- ❖ Adquirir información de los elementos geométricos de las vías, tales como radios mínimos, peraltes, ancho de carriles, bermas y deflexiones en tramos de 3 km de las vías Pamplona-Bucaramanga, Pamplona-Cúcuta, y Pamplona-Chitagá.
- ❖ Realizar inventario de los puntos de acceso que convergen a la vía, y que desmejoraron en nivel de servicio de ésta.

- ❖ Determinar volúmenes de tráfico de máxima demanda horaria para evaluar capacidad y factor hora pico.
- ❖ Analizar resultados empleando el método de la Transportation Research Board Highway Capacity Manual (HCM 2010) (**Transportation Research Board, 2011**) de los Estados Unidos y el método Colombiano Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos Carriles (**Universidad Del Cauca, 1996**), INVIAS para confrontar resultados por los dos procedimientos.
- ❖ Modelar el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de dos Carriles (**Universidad Del Cauca, 1996**), por medio de un software que simplifique el proceso para la clasificación del nivel de servicio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las Vías Nacionales que convergen a la ciudad de Pamplona representan tramos de las principales carreteras que comunican al Departamento con el resto del País y en las cuales se ha observado múltiples falencias en cuanto a trazado y congestión, por lo cual se vio la necesidad de enfocar un estudio por parte de dos estudiantes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Pamplona adscritos al semillero de investigación SEVIAL, en lo que tiene que ver con uno de los aspectos fundamentales en la Ingeniería de Transito, como lo es los Niveles de Servicio y la Capacidad.

Con estos parámetros se podrá dar una diagnostico preliminar del estado de la vía y estos sumados a otros factores que se salen del alcance del estudio se convierten en un componente fundamental a la hora de tomar planes e iniciativas de mejora

por parte de las autoridades en estas vías que tienen tanta relevancia a nivel Local y Nacional.

Se debe tener en cuenta que actualmente se viene planteando un mejoramiento de la vía con la construcción de una segunda calzada, que sin lugar a duda mejorara las condiciones de tránsito existentes, aunque la vía seguirá funcionando con las condiciones actuales por varios años y el tramo estudiado en La Ruta Troncal del Norte, no presenta en la actualidad proyectos de mejora, por lo que el estudio planteado mantiene su importancia como fuente de datos tanto para la evaluación actual, como para posibles contrastes con las vías en sus nuevas condiciones. Finalmente se espera que el trabajo final sirva como referente para la implementación de estudios similares en otras zonas del territorio nacional.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las Vías Nacionales que recorren el departamento Norte de Santander, en la actualidad son de dos carriles y requieren el estudio de factores que permitan evidenciar su estado actual con el fin de tener un precedente sobre la calidad operacional de estas y el impacto de los proyectos de mejoramiento que en la actualidad se ciernen sobre ellas, esto teniendo en cuenta las obras de mejoramiento que se están proyectando para los tramos Pamplona- Cúcuta y Pamplona- Bucaramanga, en cuanto a las Vías Pamplona- Chitaga el estudio servirá de punto de partida para el análisis de posibles intervenciones.

Por tal motivo se plantea un estudio por parte de dos estudiantes del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Pamplona en las Vías correspondientes al sector de la ciudad de Pamplona en lo referente a Niveles de Servicio y Capacidad que nos permitirá tener una base fundamental para el planteamiento de planes de mejoramiento y evaluación de las medidas tomadas por parte de las autoridades gubernamentales.

1.4 GENERALIDADES DEL ESTUDIO

1.4.1 Alcance y condiciones del estudio

1.4.1.1. Alcance. Generar un diagnóstico sobre los Niveles de Servicio y la Capacidad de las vías principales que comunican a la ciudad de Pamplona con el resto del país, utilizando para tal fin información obtenida en campo en su totalidad, se debe aclarar que el Instituto Nacional de Vías cuenta con registros históricos de estaciones de conteo de cerca de 20 años, pero los datos ofrecidos por el Instituto carecen de detalle razón por la cual y con el fin de generar una garantía de confiabilidad alta sobre los datos obtenidos se hizo necesaria la implementación de tres aforos vehiculares a razón de uno por año desde el planteamiento de la propuesta de estudio.

Según la (Universidad del Cauca, 1996) afirma que para el desarrollo se utilizaron los métodos propuestos uno por el Instituto Nacional de Vías (Manual de Capacidad y Niveles de Servicio Para Carreteras de Dos Carriles-1996) y por el Transportation Research Board- TBR (Highway Capacity Manual- HCM 2010), con el objetivo de contribuir a la planeación, operación y diseño de posibles intervenciones en los tramos analizados.

Actualmente el Gobierno Nacional ha hecho importantes inversiones con el fin de modernizar el corredor vial Bucaramanga-Cúcuta lo que a mediano y largo plazo convertirá este tramo vial en doble calzada, esto significara a nivel del análisis de tránsito la implementación de una nueva metodología para su estudio, el presente documento dejara entonces una fuente de datos confiables para estudiar el impacto real de estas obras a nivel de tránsito.

1.4.1.2. Condiciones. Según (Herrera, 2008) se encuentran tres factores condicionantes para el desarrollo del estudio, la primera es que no se cuenta con la información que hace referencia a las condiciones geométricas de la vías, actualizadas con las intervenciones que han sufrido, esto hizo necesario la utilización de levantamiento topográfico para las vías en estudio, la segunda se basa en la necesidad de obtener datos sobre tráfico directamente para el estudio obviando de esta manera los conteos que presenta el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) con el fin de elevar el nivel de confiabilidad de los datos utilizados para el estudio y como último factor se debe dejar expreso que la utilización del Highway Capacity Manual (HCM 2010) se hace con el fin de conocer la utilización del método y obtener una comparación sobre los métodos con la limitante de que dicho método no se adapta de forma total a las condiciones presentes en el terreno colombiano ya que los factores utilizados por este son obtenidos en vías de Estados Unidos que cuentan con velocidades más altas, debido esto tal vez a un mayor desarrollo vial que deriva en mejores alineamientos tanto verticales como horizontales.

1.4.2 Estado del estudio

Luego de hacer un chequeo en los datos del Instituto Nacional de Vías tenemos que a la ciudad de Pamplona convergen la Ruta Troncal Nacional 55 y la Ruta Transversal Nacional 66 en los siguientes tramos:

Vía La Lejía- Pamplona Ruta Nacional 55 Tramo 05

Vía Pamplona- Cúcuta Ruta Nacional 55 Tramo 05

Vía Berlín -Pamplona Ruta Nacional 66 Tramo 03

Según los datos consultados tanto en el Instituto Nacional de Vías como en las Secretarías de tránsito Municipal y Departamental no existen estudios acerca de los

Niveles de Servicio y Capacidad de estas vías en los sectores de entrada a Pamplona.

Los estudios sobre Niveles de Servicio y Capacidad han sido aplicados en varias regiones del País obteniendo en cada caso resultados variables y dependientes de las condiciones de la zona de estudio.

1.4.3 Estado general de las vías

1.4.3.1 Reseña histórica. A la ciudad de Pamplona convergen en la actualidad 2 vías de gran importancia para la región, tal es el caso de la Ruta 55 o “Troncal Central del Norte” y la Ruta 66 o “Ruta de la Soberanía” estas pasan por el Municipio por medio de tres accesos y han sido de vital importancia para el reconocimiento y crecimiento del municipio.

Según (Moreno & Gonzales, 2010) la historia de la Ruta 55 se remonta a la época de la colonia española, los primeros registros históricos del tránsito por esta ruta datan del año 1810 en el viaje del canónigo José Cortés de Madariaga en lo que para aquella época era conocido como el “Camino Real” que estaba comprendido entre Caracas y Santafé de Bogotá. En el tramo Cúcuta- Santafé de Bogotá el viaje tuvo una duración de 16 días siendo este el primer tiempo de referencia para la hoy conocida como Ruta 55.

Con el pasar de los años estos caminos se constituyeron en rutas de comunicación impulsadas principalmente por la necesidad de comercio, su primer salto a vía carretable lo dio bajo la presidencia de Rafael Reyes construyendo un trayecto de 230 km desde la ciudad de Bogotá hasta Santa Rosa de Viterbo(Boyacá) en el año de 1905.

Mientras esto sucedía la Ruta 66 en el tramo Bucaramanga-Pamplona se mantenía en un alto deterioro y fue en ese momento que la Ciudad de Pamplona intento hacerse cargo del mantenimiento de las Vías, intento que llego al fracaso ya que a pesar de la buena intención los altos costos del mantenimiento no hacían viable que la Ciudad se hiciera cargo de estos.

Para 1916 según informe del Ministerio de Obras Publicas la “Troncal Central del Norte” se encontraba en ampliación con el fin de hacerla carretable el tramo Pamplona- Cúcuta entre otros de la Ruta 55.

Durante la presidencia de Gustavo Rojas Pinilla se pavimentan los primeros tramos de la Ruta 55 sobre la Ruta 66 no se conocen datos sobre el inicio de su pavimentación.

Por medio de resolución 3700 en 1995 se establecen 5 tramos para la ruta 55 terminando en La Lejía municipio de Pamplona, pero bajo resolución 5471 de 1999 se amplía hasta el puente internacional Pedro de Heiva en el municipio de Puerto Santander, finalmente mediante decreto 1735 de 2001 la Ruta 55 pasa a ser conocida como “Troncal Central del Norte” con una longitud actual de 618Km aproximadamente.

La Ruta 66 comprende un trazado entre Barrancabermeja (Santander) y Arauca (Arauca) con una longitud aproximada de 549 Km.

1.4.3.2 Condiciones actuales. Las dos rutas sobre las cuales se cierno el estudio en la actualidad cuentan con pavimento en la mayoría de su trayectoria, con sectores destapados en el caso de la Ruta 55 no superior a 50 Km en el tramo comprendido entre Presidente- El cerrito, la Ruta 66 presenta tramos más extenso sin pavimento o en mal estado encontrados estos en el tramo La lejía- Saravena estos causados principalmente por una topografía agreste y un orden público difícil.

Se requiere tener en cuenta estas condiciones el momento de lograr las conclusiones del presente documento ya que el estado de la vía de termina en gran medida la atracción de tráfico y este factor termina influenciando claramente los Niveles de servicio y Capacidad en los sectores estudiados.

En el caso puntual de los sectores utilizados para el estudio se cuentan con pavimentos en buen estado caso Pamplona-La Lejía (Ruta 55) y Pamplona- Berlín (Ruta 66) mientras que el sector Pamplona-La Don Juana presenta un pavimento con un grado de deterioro bajo.

En cuanto a su alineamiento geométrico los tres sectores cuentan con deficiencias notables pero deben entenderse tales restricciones como la conjugación entre un terreno con altas pendientes y alineamientos muy antiguos en los cuales solo se partía de la necesidad de una vía dejando el factor de comodidad de lado.

Tabla 1. Tramos Ruta 55

RUTA 55-TRAMOS			
TRAMO	INICIO	FIN	LONGITUD (Km)
1	BOGOTÁ	TUNJA	119,2
2	TUNJA	DUITAMA	48
3	DUITAMA	LA PALMERA	134,5
4	LA PALMERA	PRESIDENTE	104,8
5	PRESIDENTE	CÚCUTA	139,1
7	CÚCUTA	PUENTE INTERNACIONAL PEDRO DE HEIVA	53,7

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Tabla 2. Tramos Ruta 66

RUTA 66-TRAMOS			
TRAMO	INICIO	FIN	LONGITUD (Km)
1	BARRANCABERMEJA	LA LIMAZA	30
2	LA FORTUNA	GIRON	71
3	BUCARAMANGA	PAMPLONA	124
4	LA LEJIA	SARAVENA	150
5	TAME	ARAUCA	44

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Para ver el estado actual que presentan las vías, ver anexo A.

En este momento en el País se está llevando a cabo una ola de modernización de las vías y la región de Norte de Santander no es ajena a esta modernización vial. Es así como la ciudad de Pamplona es epicentro de dos de estas megas obras como lo son la doble calzada Pamplona-Cúcuta y la doble calzada Bucaramanga-Pamplona estas obras a mediano y largo plazo terminaran convirtiendo estas dos entradas a la ciudad en vías multicarril que requerirán un estudio con metodologías diferentes a las estudiadas en este documento.

1.4.3.3. Función de las vías estudiadas. Las vías en estudio y como se referencio en la historia datan de más de 200 años cuando se hizo el trazado para un camino de herradura desde aquel momento y aun con la evolución de estas la función primordial sigue siendo la comunicación desde el centro y occidente del país con la frontera del vecino país Venezuela.

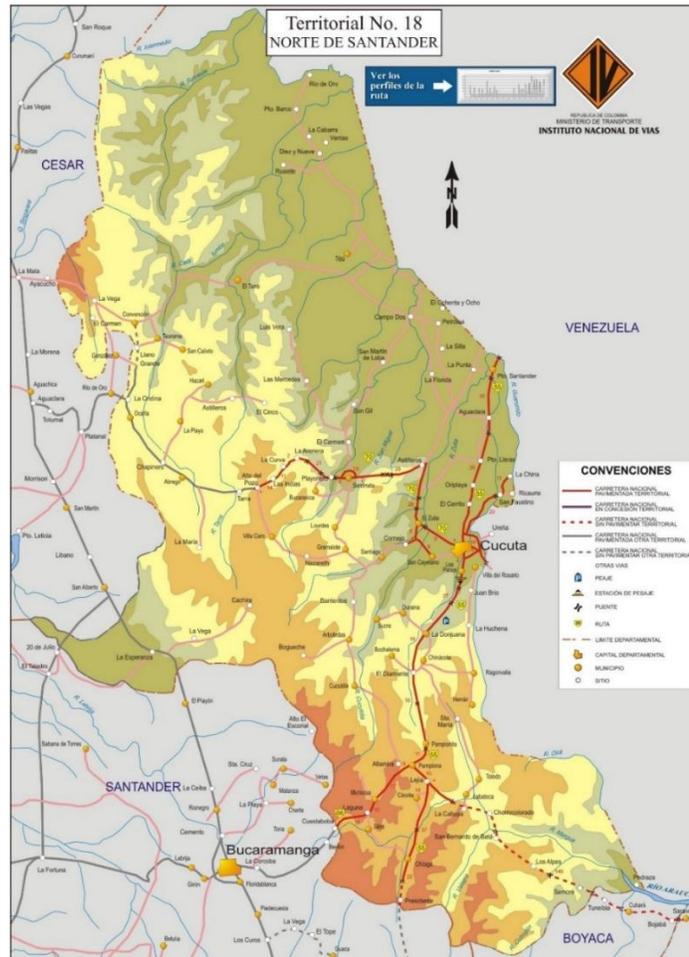
Esta interacción internacional le ha generado a estas vías un interés importante por parte del Gobierno Nacional quien trabaja constantemente en su mantenimiento y adecuación.

La necesidad de comunicación con el Vecino País por motivos de comercio principalmente ha traído un desarrollo en las rutas, estas que a su vez en su trazado interconectan internamente por medio de sub-rutas los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander y Arauca.

En el sector estudiado las vías llevan como función principal comunicar la Ciudad de Pamplona con las ciudades circundantes y a su vez servir de paso para el tráfico que requiere intercomunicarse entre ciudades principales, ciudades principales y secundarias y entre ciudades secundarias, estas características le generan a los sectores un flujo vehicular considerable. Podríamos entonces decir que las vías estudiadas y debido a su importancia son vías principales o clase I.

1.4.3.4. Ubicación de estudio. El estudio presentado en el presente documento se encuentra en el departamento de Norte de Santander.

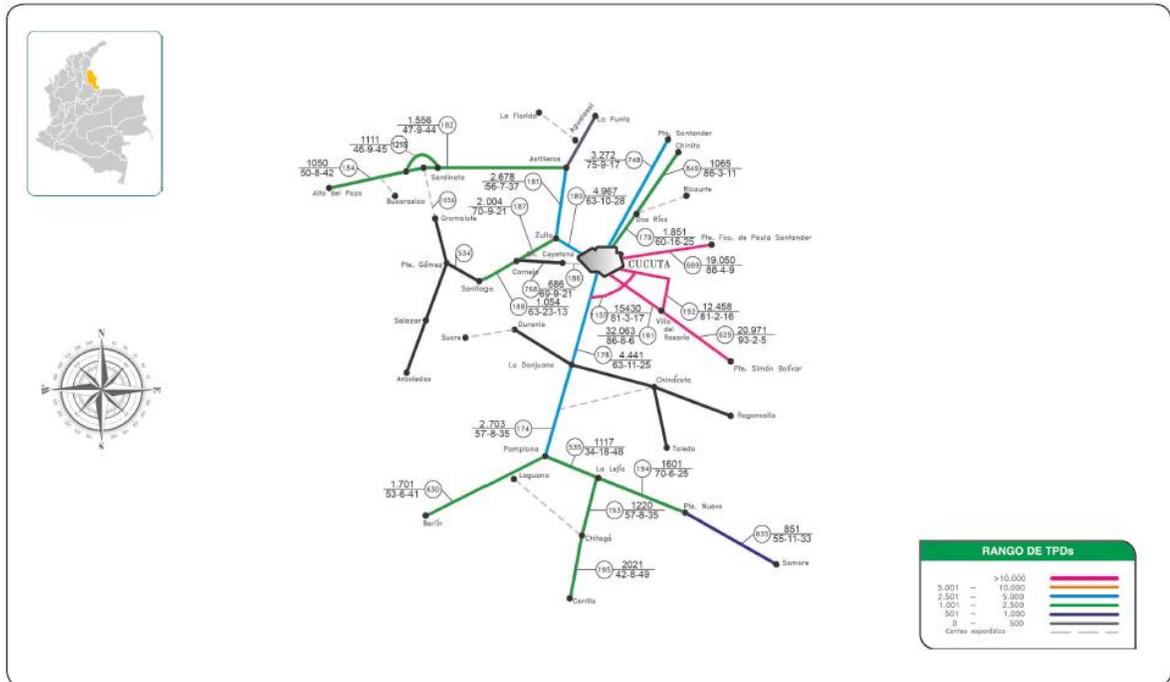
Figura 1. Mapa Vial Territorial 18 Norte de Santander.



Fuente: (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2011)

En esta territorial el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) cuenta con un buen número de estaciones de conteo que reduce los tramos a sectores de estudio.

Figura 2. Ubicación de Estaciones de Conteo.



Fuente (Agencia Nacional de Infraestructura, 2012)

De esta ubicación y con fines estadísticos se obtendrán datos de las estaciones de conteo enumeradas a continuación:

- Pamplona- La Don Juana Estación 174.
- Pamplona- LA Lejía Estación 535.
- Pamplona- Berlín Estación 630.

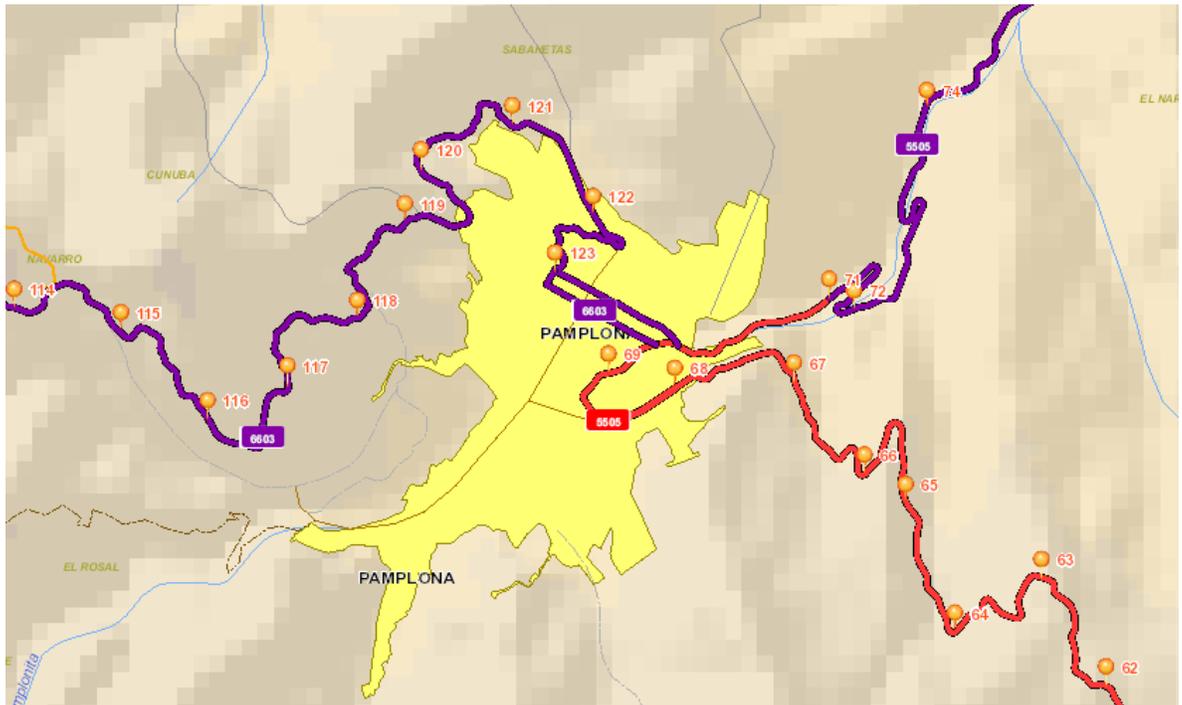
Esta estadística aunque no se usará para hallar los niveles de servicio en las condiciones actuales si servirá para hacer una proyección del tráfico al cual se le aplicara la metodología de forma similar con el fin de estimar los Niveles de Servicio y Capacidad de la vía con las proyecciones realizadas.

De las rutas tomamos los tramos:

- Ruta 55 Tramo 05 Presidente -Cúcuta.
- Ruta 66 Tramo 03 Bucaramanga- Saravena.

Estos tramos pasan por la ciudad de Pamplona haciendo el sector más cercano a la ciudad como el más crítico del tramo debido a las difíciles condiciones geográficas presentes que a su vez limitan las condiciones geométricas del trazado, este factor junto al incremento del flujo vehicular por la naturaleza del flujo urbano fueron los determinantes de estos sectores como los adecuados para el estudio ya que presentan las condiciones más críticas de los tramos.

Figura 3. Rutas con Abscisado en los Sectores Críticos.



Fuente (Instituto Nacional de Vías- INVIAS, 2014)

- Pamplona – La Don Juana (Ruta 55 Tramo 05)

Este sector se trabajará entre el PR 71+000 (Puesto Dian) y el PR 74+000, anexo B.

- Pamplona – Berlín (Ruta 66 Tramo 03)

Este sector se trabajará entre el PR 119+000 y el PR 122 +000, anexo B.

- Pamplona – La Lejía (Ruta 55 Tramo 05)

Este sector se trabajara entre el PR 65+000 (La Cortada) y el PR 68+000, anexo B.

CAPITULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES

En Colombia se han realizado este tipo de estudios, principalmente en vías nacionales o que sean importantes para los intereses de éstas. Estos estudios se han llevado a cabo en algunas ciudades que, por su desarrollo tiene tendencias al crecimiento de volúmenes de tránsito y por consecuente la saturación de sus vías y decadencia en la movilidad siendo utilizados como referentes para el planteamiento de las soluciones.

Estos estudios aunque no son públicos en su totalidad están bajo la administración del instituto nacional de vías (INVIAS) pues estos se predestinan para sus propios proyectos y generalmente se aplican por su propio personal técnico. Hoy en día se están realizando estos estudios de manera independiente para tesis de grado e con el ánimo de investigar en este campo como trabajos de posgrado dejando así estos datos como bancos de información para las gobernaciones y/o alcaldías de la zona de estudio.

En pamplona, se han realizado estudios de movilidad que nos dan una idea del movimiento del tránsito en el casco urbano o interior de la ciudad pero este es parte de las consecuencias del tráfico de las zonas rurales por lo que se han hecho necesarios los resultados de este estudio.

2.2 MARCO TEÓRICO

Según (Cerquera, 2007) durante la décadas de los 30 y 40 la ingeniería de tránsito que hasta hace pocos años se empezaba fundamentar vio la necesidad de clasificar las vías en términos medibles con volúmenes de tránsito de demanda y oferta en

las vías, lo que le da vida al término de capacidad vial. Este, tenía como propósito poder distinguir las vías actuales y de igual manera poder diseñar aspectos geométricas de las nuevas vías con datos históricos y aprendiendo de la experiencia, poder evitar en un futuro los indeseables congestionamientos.

De acuerdo a (Cáceres, 2014) los niveles de servicio son las condiciones a determinar de una vía con referencia a los automotores y peatones y hoy en día se han implementado procesos y metodologías para el tránsito de bicicletas. Los niveles de servicio nos muestran las condiciones de la vía debido a sus volúmenes de tránsito, su movilidad, capacidad y en general una relación entre lo que se ofrece y lo que demanda el tránsito del sitio donde esta esté situada. Estos se clasifican con las primeras seis letras del alfabeto de A a F donde F es la peor condición y A la mejor, es decir esta vía no presenta pelotones detrás de autos lentos ni estancamientos y sus condiciones son ideales con respecto a la demanda del lugar, cabe resaltar que estas clasificaciones son cualitativas en su presentación final pero toda su metodología y proceso para su determinación se basa en datos de tipo cuantitativos pues se fundamentan también en datos como porcentaje de adelantamiento, velocidad media de viaje, radio mínimo de la curva, volúmenes de tránsito en lapsos de tiempo donde presenten picos y datos geométricos que solo pueden presentarse con números y ser medibles.

Aunque también se tienen varios factores cualitativos que afectan estos niveles de servicio como la geometría descrito en diferentes aspectos (no cuantitativos), tipo de vehículos, categoría de la vía y demás factores que presenten aspectos relevantes en su condición.

Según (HCM Highway Capacity Manua, 2010) las carreteras de dos carriles tienen varias características que son propias y representativas de ellas pues es casi improbable que estas características puedan presentarse en vías multicarriles o de doble calzada pues las vías de dos carriles presentan la condición de que las

condiciones de viaje depende mucho del carril contrario pues afecta de manera considerable las posibilidades o porcentajes de adelantamiento ya que, si la vía presenta tramos largos de mínimo 300 metros de visibilidad, distancia considerada óptima para adelantamiento, y el carril contrario presenta brechas o lapsos de inhabilidad del tránsito en ese momento; es posible adelantar y evitar lo que se conoce como pelotones, estos, principalmente se generan cuando no hay brechas y los automóviles están posicionados en la parte posterior de vehículos más lentos.

En este trabajo se utilizarán dos métodos para la determinación de los niveles de servicio de las vías nacionales que intersectan a Pamplona, estos son el método Nacional o método del INVIAS y la HCM (2010) (Highway Capacity Manua) de Estados Unidos. Ambos procedimientos para las carreteras de dos carriles, que, en nuestro país son las más comunes para tramos largos de vías nacionales y estas en específico son las que se presentan en el Municipio de estudio.

2.3. MARCO CONTEXTUAL

Colombia, se sitúa actualmente en un proceso de desarrollo vial de la mano con las entidades encargadas de la infraestructura vial del país, hoy en día un gran porcentaje de la red vial del país está compuesta por el tipo de vías que aquí analizamos, (Bernal, 2016) “Colombia cuenta con una red vial de 202.102 kilómetros distribuidos en tres redes: primaria, a cargo de la Nación con 17.203 kilómetros; secundaria, a cargo de los departamentos con 42.954 kilómetros y terciaria, a cargo de los municipios con 141.945 kilómetros. Es de gran importancia para el proyecto la influencia de las nuevas dobles calzadas pues Según informe del Ministerio de Transporte, entre los años 2011 y 2012 se construyeron 328,93 kilómetros de dobles calzadas. En 2013 se proyecta la construcción total de 300 kilómetros de dobles calzadas más, para un total acumulado de 1.347 kilómetros.

De esta cifra, en el primer trimestre de 2013 se construyeron 51 kilómetros de dobles calzadas. Las rutas beneficiadas fueron especialmente la Ruta del Sol, con 34,4 kilómetros y la Ruta Caribe con 8 kilómetros”.

Existe la implementación de las vías de cuarta generación (4G), (Bernal, 2016) “esto se traduce en vías de mayor calidad, que cumplan estándares internacionales y permitan mejorar la conectividad especialmente entre centros de producción y exportación.

Por lo pronto, ninguna carretera de Colombia figura entre las diez más peligrosas del mundo, como la vía Nor Yungas en Bolivia y el Paso de los Libertadores, entre Argentina y Chile, según la Agencia AFP”.

Para nuestro estudio en cuestión, en norte de Santander se desarrollan dos proyectos que consisten en construir la doble calzada Bucaramanga – Pamplona y Pamplona – Cúcuta que mejorará por mucho el alineamiento existente.

2.4. MARCO LEGAL

Reglamento estudiantil Universidad de Pamplona Art. 5 Requisitos de Grado, Capítulo VI Trabajo de Grado.

Acuerdo No. 186 del 2 de diciembre de 2005: “En el cual se compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado de la Universidad de Pamplona bajo las atribuciones legales que le confieren al Consejo Superior de la misma. Donde se permite la realización del trabajo de grado en la modalidad de Práctica Empresarial consignado en el Capítulo VI, Artículo 36, literal “D” que establece la modalidad como el ejercicio de una labor profesional del estudiante en una empresa durante un periodo de tiempo”.

Ley 1228 DE 2008 “Por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras y se dictan otras disposiciones”.

Ley 769 DE 2002 "Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones".

Ley 1503 DE 2011 “Por la cual se promueve la formación de Hábitos, comportamientos y conductas seguras en la vía y se dictan otras disposiciones”.

Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Universidad del Cauca (1996).

Transportation Research Board, Highway Capacity Manual (2010).

2.5. GLOSARIO

Capacidad: Podemos definir la capacidad como el número de vehículos (cp) que pueden pasar en determinado tiempo por un punto de la vía sin que se presente congestión, esta capacidad no siempre o no necesariamente tiene que darse en una hora, esta capacidad podría analizarse en diferentes tiempos que alterarían su valor y seguiría siendo funcional y aplicable a cualquier estudio.

Para el cálculo de la capacidad partimos de una condición ideal establecida por los métodos y se reduce progresivamente mediante factores geométricos que están condicionados por las condiciones actuales de la vía, esta característica puede expresarse también para fines de interpretación como un porcentaje, es decir, utilizando un volumen máximo horario podemos determinar qué porcentaje de la vía se está usando actualmente, esto no quiere decir que en la situación en que su

porcentaje sea bajo, su nivel de servicio es muy alto o las condiciones de viaje son excepcionales ya que la interpretación de este dato puede ser confusa para su utilización o presentar criterios para la toma de decisiones en nuevos proyectos o tratamientos que requiera la vía.

Niveles de servicio: según (Universidad Del Cauca, 1996). El nivel de servicio para una carretera de dos carriles se define como el nivel de satisfacción del conductor al transitar por un tramo que represente la vía, podríamos decir que es un conjunto de rangos de conformidad en el que se encuentra el conductor y donde puede desplazarse con facilidad y a voluntad según el rango en el que pueda clasificarse.

Los niveles de servicio tienen dos determinantes, el primero se denomina como velocidad media de viaje pues es un parámetro fundamental a la hora de asignarle un rango de libertad al conductor. El siguiente es la relación volumen-capacidad, con esta relación podemos medir el grado de proximidad a la que la vía podría enfrentarse a la congestión y situarse muy por fuera de los rangos establecidos para su clasificación.

Puntos de acceso: Se define como punto de acceso a todos los puntos que se sitúen a un costado de la vía y generen una atracción del tráfico que circula normalmente, estos pueden ser viviendas, empresas, lavaderos, restaurantes, accesos a fincas aledañas... etc. Aunque no son un factor relevante si desmejoran la velocidad promedio de viaje y por momentos pueden llegar a ocasionar congestiones por intentos de parqueo o ingreso en estos puntos.

Carros de pasajeros: Se denomina con las siglas (cp) y clasifica a todos los vehículos livianos de dos ejes y cuatro llantas con fines recreacionales o de velocidad alta. No contiene vehículos de carga.

Sectores de análisis: por factores de costo y tiempo resulta demasiado difícil analizar una ruta completa que puede tener entre 150 o 200 km e incluso más. Los métodos que se dedican al estudio de las capacidades y niveles de servicio reducen estos tramos a longitudes representativas de su totalidad, estos se denominan sectores de análisis. Dentro de un tramo de vía se puede identificar dos tipos de sectores:

- Sectores típicos: estos, representan las características principales de la vía en cuestión o dan una idea general del alineamiento, que tenga anchos de calzada óptimos, que no sean pendientes muy altas y el pavimento se encuentre en un buen nivel de funcionalidad.
- Sectores críticos: estos presentan malas condiciones y están propensos a que, en esos puntos se presenten congestionamientos con la presencia de altas demandas de tráfico.

Variaciones aleatorias: Es común que en los estudios estadísticos de tránsito, los muestreos, o aforos en este caso, presenten picos relevantes que pueden de alguna manera no ser tomados en cuenta por su misma situación fuera del grupo estadístico de datos. Sin embargo el Método Colombiano considera una situación donde la Capacidad presenta una condición pico en un lapso de cinco minutos reduciendo la relación de volumen capacidad, es decir disminuir la capacidad de la vía partiendo de unas condiciones aleatorias que pueden presentarse o pueden no hacerlo.

Calzada: Se toma este valor como el ancho total o la distancia habilitado para la circulación de ambos sentidos.

Carril: Se define como la mitad de la calzada o el ancho habilitado para la circulación de un solo sentido.

Berma: Se define como un sobre ancho de la vía que puede tener muchas utilidades, entre estas un carril adicional para adelantamiento a vehículos pesados, un carril para motos, bicicletas y en algunos casos peatones, esta característica se define en condiciones ideales con una longitud de 1.80 metros, bermas mayores a estos valores incrementan la comodidad de la vía y por lo tanto el nivel de servicio.

Velocidad media: Es el dato fundamental para la determinación de los niveles de servicio, en el método del HCM 2010 se le denomina velocidad promedio de viaje y cumple la misma función que llega a cumplir en el Método Colombiano. Este dato se define como la velocidad promedio a la que el conductor se desplaza por la vía.

Velocidad ideal a flujo libre: Se denomina como la velocidad a la que puede circular un vehículo sin ninguna restricción, esta velocidad puede ser tomada en la vía según su tasa de flujo en la hora de estudio, calculada por muestreo cuando la tasa de flujo es alta y calculada por los límites establecidos en el diseño más unos factores establecidos.

Características geométricas de la vía: son las características inamovibles de la zona como la pendiente, radios, bermas, calzadas, carriles, longitud de tangentes y demás. Estas características son las que se analizan para determinar la capacidad de la vía bajo estas condiciones.

Distribución por sentido: es importante cuando se realiza un análisis de niveles de servicio la distribución por sentido pues esta muestra los porcentajes en los que circula el tránsito, ya que para vías de dos carriles es un factor relevante ya que la capacidad de adelantamiento a otros vehículos en un sentido se condiciona a los volúmenes y flujos del sentido opuesto.

Ruta: según (INVIAS 1996) "Es aquella carretera cuya función primordial es la integración de índole nacional o regional. Se identifica con dos dígitos"

Tramo: Se define el tramo como una sección de la ruta, este es usado para la ubicación y control de secciones de rutas y se define por los dos últimos números.

Sector: hace parte del tramo y se usa para determinar la capacidad y los niveles de servicio de un tramo usando este como una muestra representativa en las peores condiciones.

Factor hora pico: Este factor nos muestra cómo es la distribución del flujo durante la hora en periodos de cinco o quince minutos según la finalidad del aforo. Para el cálculo de niveles de servicio y capacidad se recomienda la utilización de un análisis por lapsos de quince minutos pues su análisis es más sencillo de interpretar y de trabajar.

Terreno llano: se le puede asignar a una carretera de dos carriles terreno plano cuando este no presenta pendientes y su alineamiento es ideal, en Colombia este tipo de vías favorecidas en este terreno se ven en las zonas de los llanos orientales o costeras.

Terreno ondulado: se conoce como terreno ondulado a las rutas con pendientes menores al 3% y cuentan con un alineamiento medianamente bueno pero no puede decirse que es totalmente ideal, estas clasificaciones están sujetas a las pendientes transversales y el tipo de zona que rodea la vía.

Terreno montañoso o escarpado: para terrenos montañosos entran las vías cuyas pendientes transversales están entre 3 y 6%, y no se esperan velocidades ni características geométricas ideales. Para terrenos escarpados clasificamos a las vías con pendientes transversales mayores a 6%, en este tipo de vías los conductores no esperan altas velocidades debido a la variable topografía pues es muy complicado trazar un buen alineamiento en estos tipos de zonas que

generalmente se sitúan en las cordilleras que atraviesan el centro del país y los movimientos de tierras están sobrevalorados para los presupuestos asignados a estos proyectos.

TPD: Se define como el tránsito promedio diario de una ruta, tramo o sector de vía, puede calcularse como el promedio de TPDs obtenidos durante una semana en una estación de servicio o dividiendo el TPS en los siete días de la semana.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

El documento presenta el desarrollo de una investigación de tipo cuantitativo ya que en esta, “se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables” (Fernandez, 2002), la cual busca a través de un análisis de variables correspondientes a las vías ya mencionadas encontrar una evaluación de las mismas de las cuales pueda partir un diagnóstico sobre su estado actual, aunque los resultados sobre “Niveles de Servicio” mostrados en este documento no son de tipo numérico dichos resultados se dan en base a resultados numéricos expuestos estos también en el presente texto.

En la actualidad la ciudad de Pamplona no cuenta con un estudio que revele el estado actual de las Vías Nacionales que la interceptan, en cuanto a Capacidad y Niveles De Servicio se refiere. Debido a esto se plantea el presente trabajo en el cual se usa los métodos, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles (Universidad del Cauca, 1996) y Highway Capacity Manual 2010 (Transportation Research Board, 2011) que dan una evaluación sobre las condiciones que presenta la vía para los usuarios.

El presente trabajo de investigación ha sido concebido desde los objetivos planteados en el semillero de investigación “SEVIAL” por medio del cual se pretende hacer una evaluación sobre las Vías Nacionales que interceptan la Ciudad de Pamplona.

Los métodos mencionados parten de principios similares teniendo en cuenta que el método presentado por el INVIAS fue en inicio una adaptación del, por lo tanto se requieren de datos similares para el desarrollo de ambos con análisis diferenciales.

Se inicia con la toma de un aforo vehicular por un periodo de 7 días durante las 24 horas de forma constante para conocer el volumen de vehículos que utilizan las Vías y de esta manera poder obtener las variables de tráfico que se requieren para el desarrollo de los métodos. Para los aforos se utiliza el formato presentado en el Anexo I, Formatos.

Se hace un inventario geométrico de las Vías donde se conocen sus dimensiones, su distribución, el estado actual de la capa de rodadura, los puntos de acceso de cada tramo, entre otros datos que se usan para determinar factores utilizados en los métodos.

Al obtener los datos se deben remitir a los métodos los cuales se observan de forma clara y aplicable a continuación.

3.1. MÉTODO DEL INVIAS

Según (Universidad del Cauca, 1996). Inicialmente el método considera, para vías de dos carriles un volumen de $C_i = 3200$ vehículos por hora en ambos sentidos, este valor es afectado por diferentes factores dependientes de la vía y de su uso como son, la pendiente promedio (F_{pe}), factor direccional (F_d), ancho del carril y berma utilizable (F_{cb}) y presencia de vehículos pesados (F_p).

3.1.1. Calculo de capacidad

Calculamos un factor C_{60} dado como capacidad máxima en vehículos por hora determinado por la condición inicial provista por el método alterado por los factores condicionantes de la vía.

$$C_{60} = C_i * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p \quad \text{Ecuación 1.}$$

Calculamos el volumen máximo de tránsito en cinco minutos (C5) y el factor horario de máxima demanda.

$$C5=C60*FPH \text{ ó } FHMD \quad \text{Ecuación 2.}$$

FPH=factor Hora Pico

$$FHMD=VHMD/4*(q \text{ max en 15 minutos}) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Como se mencionaba anteriormente hacemos unas comparaciones con las relaciones de Q/C60 y Q/C5 para determinar los aspectos de oferta y de la vía y su demanda.

Figura 4. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (F_pe)

PENDIENTE ASCENDENTE	LONGITUD DE LA PENDIENTE EN KM					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
%						
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.90
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87
8	0.96	0.92	0.89	0.97	0.86	0.85
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77
11	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

Figura 5. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (F_d)

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDOS A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO RABASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/0	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

Figura 6. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb}).

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA EN METROS	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

Figura 7. Factores correlación a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp).

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	
		60	70	80	90	100	
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
≥5.0	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75	
2	0.5	0.94	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.78	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
≥5.0	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72	
3	0.5	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75
	1.0	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75
	1.5	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73
	2.0	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	3.0	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70
	4.0	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
≥5.0	0.84	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69	
4	0.5	0.93	0.88	0.83	0.80	0.76	0.74
	1.0	0.89	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	1.5	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.69
	2.0	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68
	3.0	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.66
	4.0	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
≥5.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64	
5	0.5	0.92	0.86	0.82	0.78	0.75	0.73
	1.0	0.85	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	1.5	0.82	0.78	0.75	0.71	0.69	0.66
	2.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.63
	3.0	0.79	0.75	0.72	0.69	0.66	0.63
	4.0	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	0.62
≥5.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62	
6	0.5	0.90	0.84	0.79	0.76	0.73	0.70
	1.0	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65
	1.5	0.79	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63
	2.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62
	3.0	0.76	0.72	0.69	0.66	0.63	0.61
	4.0	0.75	0.71	0.68	0.65	0.62	0.60
≥5.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	
7	0.5	0.89	0.82	0.78	0.74	0.71	0.68
	1.0	0.78	0.74	0.71	0.67	0.64	0.61
	1.5	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	2.0	0.74	0.70	0.67	0.63	0.60	0.57
	3.0	0.72	0.68	0.67	0.61	0.58	0.56
	4.0	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
≥5.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.54	
8	0.5	0.87	0.81	0.76	0.73	0.70	0.67
	1.0	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	1.5	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	2.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.53
	3.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53
	4.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.52
≥5.0	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.51	
9	0.5	0.86	0.79	0.74	0.71	0.68	0.65
	1.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.60	0.58
	1.5	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
	2.0	0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.53
	3.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51
	4.0	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
≥5.0	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50	
10	0.5	0.83	0.76	0.72	0.68	0.65	0.59
	1.0	0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.52
	1.5	0.69	0.64	0.61	0.58	0.55	0.50
	2.0	0.68	0.62	0.58	0.55	0.52	0.48
	3.0	0.65	0.61	0.57	0.54	0.51	0.47
	4.0	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.46
≥5.0	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.45	
11	0.5	0.79	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	1.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52
	1.5	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50
	2.0	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48
	3.0	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.47
	4.0	0.62	0.58	0.54	0.51	0.48	0.46
≥5.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45	
12	0.5	0.77	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	1.0	0.66	0.62	0.59	0.55	0.52	0.50
	1.5	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.48
	2.0	0.62	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46
	3.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.48	0.45
	4.0	0.60	0.56	0.53	0.49	0.47	0.44
≥5.0	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 8. Factor de hora pico (FHP)

VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO	VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO
100	0.68	1600	0.90
200	0.70	1800	0.92
300	0.72	2000	0.93
400	0.74	2200	0.95
600	0.78	2400	0.95
800	0.81	2600	0.96
1000	0.84	2800	0.97
1200	0.86	≥3000	0.97
1400	0.89		

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

3.1.2. Determinación del nivel de servicio

Para determinar la velocidad ideal a flujo libre dada por las pendientes y longitudes (V_i) nos remitimos a la Figura 7.

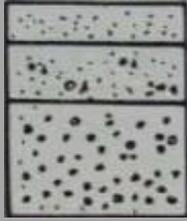
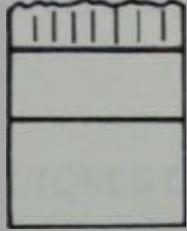
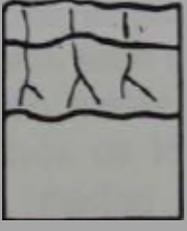
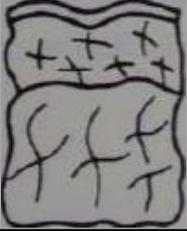
Con (V_i) posteriormente se calcula F_u de la Figura 8. Luego con la multiplicación de estos dos factores obtenemos una velocidad de automóviles a flujo restringido V_1 .

$$V_1 = V_i * F_u \text{ Ecuación 4.}$$

Luego con el factor de rodadura y efecto combinado del ancho del carril obtenidos de las Figuras 9 y 10, calculamos una velocidad a flujo restringido V_2 multiplicando igualmente.

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb} \text{ Ecuación 5}$$

Figura 9. Nivel Funcional Superficie de Rodadura.

DRENAJE	ESTADO DE LASUPERFICIE	NIVEL FUNCIONAL
		<p>CARPETA ASFALTICA</p> <p>BASE</p> <p>SUB-BASE</p> <p style="text-align: right;">5</p>
		<p style="text-align: right;">4</p>
		<p style="text-align: right;">3</p>
		<p style="text-align: right;">2</p>

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

Ahora determinamos el factor de vehículos pesados F_p con los factores F_{p1} y F_{p2} obtenidos de la Figura 11 y 12 con su multiplicación.

$$F_p = F_{p1} * F_{p2} \text{ Ecuación 6.}$$

Se calcula V3 como una velocidad a flujo mixto multiplicando Fp por V2.

$$V3 = V2 * Fp \text{ Ecuación 7.}$$

Según la Figura 13 se calcula la velocidad máxima de la curva más cerrada en Km/h y se toma como Vc y según sea la comparación de V3 con respecto a Vc es decir, si es mayor o menor, si es menor se toma la velocidad media como V3 y si no, nos remitimos a otro procedimiento que depende de la longitud de curva, longitud de un tramo L y tres tiempos de aceleración en términos de los anteriores factores, determinando así un nuevo valor para la velocidad media (V) de la siguiente manera: Calculamos la longitud de la curva.

$$Lc = Radio * Deflexion * \left(\frac{\pi}{180}\right) \text{ Ecuación 8.}$$

Se calcula la longitud acelerando y desacelerando Lda como:

$$Lda = Lc + 130 \text{ Ecuación 9.}$$

Calculamos el recorrido con velocidad V3 se determina por medio de la longitud del tramo, L:

$$L3 = 1000 * L - Lda \text{ Ecuación 10.}$$

El tiempo transcurriendo a velocidad de V3 es:

$$T3 = 3.6 * L3 / V3 \text{ Ecuación 11.}$$

Los tiempos de aceleración y desaceleración son respectivamente

$$td1 = \frac{(-0.278 V3 + (0.077 * V3^2 - 49.40)^{1/2}) * 2}{-0.19} \text{ Ecuación 12.}$$

$$td2 = \frac{(-0.267V3+(0.071*V3^2 -0.60 Lc)^{1/2})}{-0.30} \text{ Ecuación 13.}$$

$$tda = \frac{(-0.256 V3+(0.065*V3^2 +0.20 Lc)^{1/2})}{0.10} \text{ Ecuación 14.}$$

$$Tda = td1 + td2 + tda \text{ Ecuación 15.}$$

$$T = T3 + Tda \text{ Ecuación 16.}$$

$$\text{veloividad media} = 3600 * \frac{L}{T} \text{ Ecuación 17.}$$

Ya con estos valores y la pendiente con el tipo de terreno nos remitimos a la Figura 14 para determinar el nivel de servicio definitivo.

Figura 10. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendiente ascendente (Vi)

PEND. ASC. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 11. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto de la utilización de la capacidad (Fu)

RELACIÓN VOLUMEN/CAPACIDAD Q/C60	FACTOR DE CORRECCIÓN
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1.0	0.50

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 12. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (Fsr)

VELOCIDAD D (km/h) V ₁	IRI > 6 mm/m	IRI 4 a 6 mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA
	Mayor del 30 %	Del 15 al 30 %	Menor del 15 %
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 ó 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 13. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb})

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA EN (m)	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.7
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: (Universidad del Cauca, 1996)

Figura 14. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp1)

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)					
		≥ 90	80	70	60	50	≤ 40
0	Todas	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.00
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.00
	1.5	0.76	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	≥3.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
2	0.5	x	0.00	0.91	0.95	1.00	1.00
	1.0	x	0.87	0.87	0.93	1.00	1.00
	1.5	x	0.82	0.85	0.92	0.99	1.00
	2.0	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	2.5	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	3.0	x	0.78	0.84	0.92	0.98	1.00
	≥3.5	x	0.77	0.84	0.92	0.98	1.00
3	0.5	x	0.84	0.88	0.92	0.98	1.00
	1.0	x	0.79	0.84	0.89	0.97	1.00
	1.5	x	0.75	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.0	x	0.74	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.5	x	0.73	0.79	0.87	0.95	1.00
	≥3.0	x	0.73	0.79	0.86	0.95	1.00
4	0.5	x	0.82	0.86	0.91	0.97	1.00
	1.0	x	0.77	0.81	0.87	0.95	1.00
	1.5	x	0.72	0.77	0.84	0.92	1.00
	2.0	x	0.72	0.77	0.83	0.92	1.00
	2.5	x	0.71	0.76	0.83	0.91	1.00
	3.0	x	0.71	0.75	0.82	0.91	1.00
	≥3.5	x	0.70	0.74	0.82	0.91	1.00

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Continuación Figura 14.

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V ₂)						
		≥ 80	70	60	50	40	30	≤ 20
5	0.5	0.81	0.85	0.89	0.95	1.00	1.00	1.00
	1.0	0.70	0.76	0.81	0.89	0.99	1.00	1.00
	1.5	0.68	0.73	0.79	0.87	0.97	1.00	1.00
	2.0	0.67	0.72	0.78	0.86	0.97	1.00	1.00
	2.5	0.66	0.71	0.77	0.86	0.96	1.00	1.00
	3.0	0.66	0.71	0.77	0.85	0.96	1.00	1.00
	≥3.5	0.66	0.70	0.76	0.85	0.95	1.00	1.00
6	0.5	0.75	0.79	0.84	0.90	0.98	1.00	1.00
	1.0	0.64	0.69	0.75	0.82	0.92	1.00	1.00
	1.5	0.63	0.67	0.73	0.80	0.90	1.00	1.00
	2.0	0.62	0.67	0.72	0.80	0.90	1.00	1.00
	2.5	0.62	0.66	0.71	0.79	0.90	1.00	1.00
	3.0	0.62	0.66	0.71	0.79	0.90	1.00	1.00
	≥3.5	0.61	0.66	0.71	0.78	0.89	1.00	1.00
7	0.5	0.72	0.76	0.81	0.86	0.94	1.00	1.00
	1.0	0.61	0.65	0.70	0.76	0.87	1.00	1.00
	1.5	0.60	0.63	0.69	0.75	0.85	0.99	1.00
	2.0	0.59	0.63	0.68	0.74	0.84	0.98	1.00
	2.5	0.59	0.62	0.67	0.73	0.83	0.97	1.00
	3.0	0.59	0.62	0.67	0.73	0.83	0.97	1.00
	3.5	0.59	0.62	0.67	0.73	0.83	0.97	1.00
≥4.0	0.58	0.61	0.66	0.73	0.82	0.96	1.00	
8	0.5	0.68	0.72	0.77	0.82	0.90	1.00	1.00
	1.0	0.58	0.61	0.65	0.72	0.80	0.95	1.00
	1.5	0.57	0.60	0.64	0.70	0.78	0.92	1.00
	2.0	0.56	0.59	0.63	0.69	0.77	0.91	1.00
	2.5	0.56	0.59	0.63	0.68	0.76	0.90	1.00
	3.0	0.56	0.59	0.62	0.68	0.76	0.89	1.00
	3.5	0.56	0.58	0.62	0.68	0.75	0.89	1.00
	4.0	0.56	0.58	0.62	0.67	0.75	0.89	1.00
≥4.5	0.55	0.58	0.62	0.67	0.75	0.89	1.00	

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Continuación Figura 14.

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)						
		≥ 70	60	50	40	30	20	≤ 10
9	0.5	0.65	0.70	0.75	0.83	0.95	1.00	1.00
	1.0	0.57	0.61	0.66	0.74	0.86	1.00	1.00
	1.5	0.56	0.59	0.64	0.72	0.83	1.00	1.00
	2.0	0.56	0.59	0.63	0.71	0.82	1.00	1.00
	2.5	0.55	0.58	0.63	0.70	0.81	1.00	1.00
	3.0	0.55	0.58	0.62	0.70	0.81	1.00	1.00
	3.5	0.55	0.58	0.62	0.69	0.81	1.00	1.00
	≥4.0	0.55	0.57	0.62	0.69	0.80	1.00	1.00
10	0.5	0.61	0.65	0.71	0.79	0.91	1.00	1.00
	1.0	0.55	0.58	0.62	0.69	0.80	1.00	1.00
	1.5	0.53	0.57	0.61	0.67	0.77	0.97	1.00
	2.0	0.52	0.55	0.59	0.65	0.76	0.95	1.00
	2.5	0.52	0.55	0.59	0.65	0.75	0.94	1.00
	3.0	0.52	0.55	0.59	0.64	0.74	0.93	1.00
	3.5	0.52	0.55	0.58	0.64	0.74	0.93	1.00
	≥4.0	0.51	0.54	0.58	0.63	0.73	0.92	1.00
11	0.5	x	0.60	0.65	0.73	0.85	1.00	1.00
	1.0	x	0.55	0.59	0.64	0.74	0.93	1.00
	1.5	x	0.53	0.57	0.62	0.71	0.88	1.00
	2.0	x	0.52	0.56	0.61	0.69	0.86	1.00
	2.5	x	0.52	0.55	0.60	0.68	0.85	1.00
	3.0	x	0.51	0.55	0.60	0.68	0.84	1.00
	3.5	x	0.51	0.55	0.59	0.67	0.84	1.00
	≥4.0	x	0.51	0.54	0.59	0.67	0.83	1.00

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Continuación Figura 14.

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_2)					
		≥ 60	50	40	30	20	≤ 10
12	0.5	0.55	0.59	0.65	0.75	0.94	1.00
	1.0	0.51	0.54	0.60	0.67	0.83	1.00
	1.5	0.50	0.53	0.58	0.65	0.79	1.00
	2.0	0.49	0.52	0.57	0.63	0.78	1.00
	2.5	0.49	0.52	0.56	0.63	0.77	1.00
	3.0	0.49	0.51	0.56	0.62	0.75	1.00
	3.5	0.48	0.51	0.55	0.62	0.75	1.00
	4.0	0.48	0.51	0.55	0.62	0.75	1.00
	≥4.5	0.48	0.51	0.55	0.61	0.74	1.00

Esta tabla está basada en el trabajo de investigación realizado por Herrera. Se ha calculado suponiendo un volumen de 400 vehículos por hora en ambos sentidos y 30% de vehículos pesados. Los factores de corrección para otras condiciones se obtienen multiplicando estos valores por los factores de la tabla 11.

Significa que la pendiente y su longitud no permiten que se alcance la velocidad especificada.

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 15. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados (Fp2)

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS	VOLÚMENES EN AMBOS SENTIDOS (veh/h)								
	≤50	100	200	300	400	500	600	800	≥1000
0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00
20	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.96
30	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
40	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
50	0.98	0.97	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
60	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
70	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
100	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

* Basada en el trabajo de investigación realizado por Herrera.

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 16. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada de sector (Vc)

RADIO DE CURVATURA (m)	VELOCIDAD MÁXIMA** (km/h)
20	37
40	46
60	51
80	54
100	57
150	62
200	66
300	71
400	74
500	77

* Se supone que la curva tiene peralte adecuado.

** Valores basados en datos de campo tomados en carreteras colombianas.

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

Figura 17. Velocidades en km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno (Vc)

Tipo de terreno (pendiente longitud)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Plano (<3%)	≥83	72-83	62-72	52-62	42-52	42
Ondulado(≥3-<6%)	≥68	59-68	51-59	43-51	34-43	34
Montañoso(≥6-<8)	≥52	45-52	39-45	33-39	26-33	26
Escarpado(≥8%)	≥36	31-36	27-31	23-27	18-23	18

Fuente: (Cerquera & Flor, 2007)

3.2. MÉTODO DEL HCM (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2010)

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) las vías de dos carriles son utilizadas para una amplia gama de actividades, desde la comunicación entre ciudades consideradas estas como vías principales, otras cuya función es servir de corredores turísticos y comunicar ciudades de segundo, así es como esta metodología considera tres clases de vías para el análisis.

Las dos primeras son de naturaleza rural y la tercera se trata de las vías de dos carriles en áreas desarrolladas la metodología presentada para este último tipo de vías aún no ha sido estandarizada y es basada solo en el análisis desarrollado por Departamento de transporte de la Florida (FDOT).

- Clase I de carreteras de dos carriles: Son carreteras donde los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas. Carreteras de dos carriles que son las principales rutas interurbanas, conectores principales de los principales generadores de tráfico, rutas de cercanías diarias, o principales eslabones de redes estatales o carretera nacional se asignan generalmente a la Clase I. Estas sirven sobre todo los viajes de larga distancia, o facilita las conexiones entre las vías que sirven a viajes de larga distancia.

- Clase II de carreteras de dos carriles: Son carreteras donde los conductores “no necesariamente esperan viajar a altas velocidades”. Carreteras de dos carriles que funcionan como acceso a las carreteras clasificadas como clase I, que actúan como rutas paisajísticas o recreativas (y no como arterias principales), o pasan a través de un terrenos accidentados (donde altas velocidades de operación sería imposible) se asignan a la Clase II. Carreteras de Clase II a menudo sirven viajes relativamente cortos, el comienzo o fin de viajes más largos o viajes de turismo juegan un papel importante.

- Clase III de carreteras de dos carriles: Son carreteras que sirven áreas moderadamente desarrolladas. Pueden ser tramos de carreteras de dos carriles Clase I o Clase II que pasan a través de las pequeñas ciudades o zonas recreativas desarrolladas. En tales segmentos, el tráfico local a menudo se mezcla con el tráfico de paso, y la densidad de los puntos de acceso a la carretera no semaforizados es notablemente mayor que en una zona rural. Las carreteras Clase III también pueden ser segmentos de tramos más largos que pasan a través de áreas recreativas, también con el aumento de densidades. Estos tramos son a menudo acompañados por límites de velocidad reducidos que reflejan el mayor nivel de actividad.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) la clasificación de las vías se da en términos de su relevancia y su función, pero debe tomarse la expectativa del conductor como un factor principal para la clasificación de la vía y esta no necesariamente debe estar acorde a la categorización de la ruta u otro tipo de clasificación.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) para iniciar el análisis el método considera unas condiciones básicas o ideales para una vía de dos carriles tales son:

- Ancho de carriles mínimo a 3.50 m.

- Acotamientos mayores o iguales a 1.8 m.
- Ninguna zona de no rebase en la carretera.
- Sólo conductores cotidianos en la corriente de tránsito.
- Ningún impedimento al tránsito directo debido a controles de tránsito o vueltas.
- Terreno plano.

3.2.1. Capacidad

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) se toma una capacidad en condiciones base de 1700 veh/h por sentido, llegando a un límite de 3200 veh/h al analizar el volumen en ambos sentidos, esto se da debido a que el momento en que el flujo direccional alcance los 1700 veh/h se presenta una limitación en el flujo opuesto llegando este a un máximo de 1500 veh/h.

3.2.2. Nivel de servicio

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Para este método y teniendo en cuenta la gran cantidad de eventualidades que se pueden presentar en las vías de dos carriles se han determinado tres factores para el análisis de los Niveles de servicio estos son:

1. Velocidad promedio de viaje (VPV).

La velocidad promedio de viaje refleja la movilidad. Se define dividiendo la longitud del tramo en estudio, entre el tiempo promedio de recorrido tomado de los vehículos que cruzan el tramo durante un intervalo de tiempo designado.

2. Porcentaje (%) de tiempo en fila (PTF).

El % de tiempo ocupado en fila representa la libertad de maniobra y el confort y conveniencia del viaje. Es el % promedio de tiempo de viaje en el que los conductores viajan en caravana o pelotón detrás de conductores más lentos debido a la imposibilidad para rebasar. Esta medida es difícil obtenerla en campo, sin embargo, puede utilizarse como medida sustituta, el porcentaje de conductores que viajan con intervalos menores a 3 segundos en un sitio representativo de la carretera. Este porcentaje representa el porcentaje aproximado de los conductores que viajan en pelotones.

3. Porcentaje (%) de velocidad de flujo libre (PVFL).

Esta velocidad representa la habilidad de los conductores de viajar al límite de la velocidad establecida o cerca de la misma.

En la siguiente Figura se muestran los criterios del HCM 2010 para los Niveles de Servicio.

Figura 18. Niveles de Servicio HCM 2010

CARRETERA			
CLASE I NIVEL DE SERVICIO (NS)		CLASE II NIVEL DE SERVICIO (NS)	CLASE III NIVEL DE SERVICIO(NS)
VPV (km/h)	PTF (%)	PTF (%)	PVFL (%)
A > 90	A ≤ 35	A ≤ 40	A > 91,7
80 < B < 90	35 < B < 50	40 < B < 55	83,3 < B < 91,7
70 < C < 80	50 < C < 65	55 < C < 70	75 < C < 83,3
65 < D < 70	65 < D < 80	70 < D < 85	66,7 < D < 75
E ≤ 65	E > 80	E > 85	E ≤ 66,7

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Ahora mostraremos la definición según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) para cada uno de los niveles de servicio presentados en la Figura anterior: “Nivel de Servicio A. En las vías Clase I, los conductores experimentan altas velocidades de operación y poca dificultad para rebasar. La frecuencia de grupos de 3 o más vehículos es baja. En las vías Clase II, la velocidad se controla principalmente por las condiciones del camino. Se esperaría una pequeña cantidad de grupos vehiculares” (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013).

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) Nivel de Servicio B. La demanda de rebase y la capacidad de rebase están balanceadas. En las carreteras Clases I y II la presencia de grupos vehiculares empieza a ser perceptible. Algunas reducciones de la velocidad se presentan en las carreteras Clase I.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) Nivel de Servicio C. La mayoría de los conductores viajan en grupos vehiculares. Las velocidades son notablemente reducidas en las dos clases de carreteras.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) Nivel de Servicio D. Los grupos vehiculares aumentan en forma significativa. La demanda de rebase es alta tanto en las vías Clase I como Clase II, la capacidad de rebase se acerca a cero. Un alto porcentaje de conductores están viajando en grupos vehiculares y el % de tiempo en fila es muy notorio.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) Nivel de Servicio E. La demanda se acerca a la capacidad. El rebase en las vías Clase I y II es virtualmente imposible y el % de tiempo en fila es mayor del 80%. Las velocidades son sustancialmente bajas.

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013) Nivel de Servicio F. Este nivel de servicio se alcanza cuando el flujo de demanda en uno o ambos sentidos

excede la capacidad del tramo. Las condiciones de operación son inestables, existiendo grandes congestionamientos en todas las clases de carreteras.

3.2.2.1. Datos de entrada. Para el análisis se requieren dos tipos de datos unos los dados por las condiciones geométricas de la vía y otros determinados por la demanda de vehículos que presenta la vía. El método da valores para cada variable pero a su vez recomienda que se efectúen estudios de tránsito ya que estos valores son aproximados y las condiciones son variantes dependiendo de cada lugar.

3.2.2.2. Volumen de demanda y flujo. Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Para la determinación de volúmenes de demanda se entra inicialmente con el flujo en término de vehículos por hora con las condiciones prevalentes. Se toma para esto la hora pico y se le hace un ajuste por medio del Factor Hora Pico (FHP) convirtiendo este volumen de demanda en volumen de flujo.

Si en el estudio de tránsito se tomaron tasas de 15 minutos para la determinación del volumen de demanda entonces se puede tomar los peores 15 minutos de la hora pico multiplicarlo por 4 lo que haría el Factor Hora Pico (FHP) 1.

3.2.2.3. Alcance del método. Según (HCM Highway Capacity Manual, 2010). La metodología propuesta determina un análisis vial por tramos direccionales a continuación se describen la clasificación de los tramos direccionales según sean las condiciones prevaletientes en el sector de estudio.

Con esta metodología se pueden analizar:

- Tramos direccionales en tipo de terreno (plano o lomerío).
- Tramos direccionales en pendientes específicas.

- Tramos direccionales incluyendo carriles para rebase y carriles de ascenso para vehículos pesados.

Se deja la especificación de que todo tramo montañoso con pendientes superiores a 3% en longitudes superiores a 1 Km debe presentar un análisis como pendientes específicas.

- **Tramos para análisis**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). La metodología aplica para tramos uniformes de carreteras. Ya que ambos sentidos del flujo interactúan a través de las maniobras de rebase (y de las limitantes en las maniobras de rebase), cada sentido debe de analizarse en forma separada.

Los tramos uniformes tienen las mismas o similares condiciones del tránsito y de la vía. Las fronteras del tramo deben establecerse en puntos donde ocurre un cambio en cualquier aspecto siguiente:

- Tipo de terreno
- Ancho de carriles
- Ancho de acotamientos
- Clasificación de la vía
- Proporción de flujo de demanda
- Procedimiento de Calculo
- Datos de Entrada

A continuación, se presenta de forma detallada los datos con los que se debe contar antes de iniciar el análisis y como se había mencionado de forma general se presentan valores aproximados para cuando no se presenta un estudio de tránsito previo.

Figura 19. Datos de Entrada HCM 2010

Datos Requeridos	Valor por Especificación	Vehículo
<i>Datos Geométricos</i>		
Clase de Carretera	Debe seleccionarse la apropiada	Automóvil
Ancho de Carril	3.50 m	Automóvil
Ancho de Acotamiento	2.50 m	Automóvil
Densidad de Puntos de Acceso	Clases I y II: 12.87 Km Clase III; 25.75 km	Automóvil
Tipo de Terreno	Plano o Lomerío	Automóvil
Porcentaje de Zona de No Rebasar ^a	Plano: 20%, Lomerío 40%, Más extremo: 80%	Automóvil
Diseño base de Velocidad	Límite de Velocidad + 15 km/h	Automóvil
Longitud de carril de Rebase (si lo hay)	Debe ser específica para el sitio	Automóvil
Estado físico del camino	Calificación del estado físico del camino bueno	
<i>Datos de Demanda</i>		
Volumen de Automóviles por hora	Debe ser específica para el sitio	Automóvil
Duración del periodo de Análisis	15 min (0.25 h)	Automóvil
Factor de Hora de Máxima demanda	0.85	Automóvil
Reparto Direccional	60/40	Automóvil
Porcentaje de Vehículos Pesados	6% Camiones	Automóvil

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

- **Estimación de la velocidad a flujo libre (VFL)**

Una variable clave en el análisis de los Niveles de servicio por el método HCM 2010 es la velocidad a flujo libre, la metodología nos presenta tres formas para determinarla:

- **Determinación en campo**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Si se cuentan con las herramientas adecuadas y calibradas para tomar velocidades en campo entonces esta puede ser la mejor manera para la determinación de esta variable, se debe tomar un aforo de al menos 100 vehículos de pasajeros por sentido a flujo libre, para

que se cumplan estas condiciones el volumen de demanda no debe superar los 200 vehículos mixtos por hora en el sentido de estudio. Si se desean analizar ambos sentidos de una vía se deben hacer aforos direccionales, si no se cuenta con las herramientas se puede tomar como referencia una vía de características similares que ya cuenten con estudios de velocidad.

- **Mediciones en campo con altos volúmenes de flujo**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Si los volúmenes de flujo superan los 200 vehículos mixtos por hora se debe hacer un ajuste a la velocidad media obtenida por medio de la siguiente ecuación:

$$VFL = Vm + 0,0076\left(\frac{V_f}{F_{HV}}\right) \quad \text{Ecuación 18.}$$

VFL= Velocidad ajustada a Flujo Libre.

Vm = Velocidad media medida en campo.

Vf = Volumen observado en el periodo de medición en ambos sentidos.

Fhv = Factor de ajuste por vehículos pesados por formula.

- **Estimación indirecta de la velocidad a flujo libre**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). En caso de no contar con los medios para realizar una medición en campo se puede tomar la velocidad base a flujo libre como referencia para estimar la velocidad a flujo libre.

Pero esta velocidad base a flujo libre es restringida por el alineamiento transversal y los accesos de la vía por lo tanto se usan factores para reducirla para estos se

requieren el ancho promedio del carril y berma junto con los puntos de accesos en la zona estudiada.

Aunque estos límites pueden no representar la condiciones ofrecidas por la vía o el deseo del conductor esto debido a que suelen ajustarse de forma prudente para evitar incidentes en la vía por lo tanto a esta velocidad base se le suma un ajuste estimado en el método como 15 Km/h.

Habiendo obtenido la velocidad base a flujo libre utilizamos la siguiente ecuación para determinar la velocidad a flujo libre:

$$VFL = VBFL - f_{LS} - f_A \quad \text{Ecuación 19.}$$

VFL = Velocidad a Flujo Libre.

VBFL = Velocidad Base a Flujo Libre.

f_{LS} = Factor de ajuste por ancho de carril y berma.

f_A = Factor de ajuste por puntos de acceso.

Figura 20. Factor de Ajuste Por ancho de Carril y Berma (FIs)

Ancho de Carril (m)	Ancho de Acotamiento (m)			
	≥0<0.6	≥0.6 <1.2	≥1.2 <1.8	≥1.8
≥2.7 <3.0	1.9	1.5	1.0	0.7
≥3.0 <3.3	1.6	1.1	0.7	0.3
≥3.3 <3.5	1.4	0.9	0.5	0.1
≥3.5	1.3	0.8	0.4	0.0

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Figura 21. Factor de Ajuste por Puntos de Acceso (fA)

Puntos de acceso por km (Ambas Direcciones)	Reducción en VFL (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
24	16.0

Nota: La densidad de los puntos de acceso se calcula dividiendo el número total de intersecciones sin semáforo y accesos en ambos lados del tramo en estudio, entre la longitud de dicho tramo en km.

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). En la metodología HCM 2010 se hace un análisis direccional en la vía por lo tanto se espera que se encuentren VFL para cada dirección.

Si dentro del tramo de estudio se presentan curvas con radios muy cerrados se espera que la VFL sea la ponderación entre las velocidades presentadas en dichas curvas y las tangentes más pronunciadas de esta manera la VFL es un solo promedio para el tramo.

- **Ajuste del volumen de demanda para la velocidad promedio de viaje (VPV)**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Este ajuste se aplica para vías clasificadas como clase I y III, la clasificación de las vías tipo II no se basan en la VPV por lo tanto se omite este paso.

Los volúmenes de demanda para cada sentido se ajustan a volúmenes de flujo mediante la siguiente ecuación:

$$V_{i,VPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}} \text{ Ecuación 20.}$$

$V_{i,VPV}$ = Volumen de flujo de demanda para la estimación de la VPV.

$I = d$, para la dirección de análisis; o , para la dirección opuesta.

V_{d-o} = Volumen de demanda para la dirección i (vehp/h).

$f_{g,VPV}$ = Factor de ajuste por pendiente, ver Figuras 19,20.

$f_{HV,VPV}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales ver ecuación

- **Factor de ajuste por pendiente**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). El factor de ajuste por pendiente está determinado por el tipo de terreno donde se desarrolla el estudio para la clasificación del terreno encontramos:

- Tramos amplios (≥ 3 kilómetros) en terreno plano.
- Tramos amplios (≥ 3 kilómetros) en terreno ondulado.
- Pendientes específicas ascendentes.
- Pendientes específicas descendentes.

Para este factor se deben tener en cuenta que todo tramo o sector con pendientes mayores a 3 % y con longitudes mayores a 400 m se debe tratar como pendientes específicas tanto en ascenso como en descenso.

Figura 22. Factor de Ajuste por Pendiente Fg Terreno Plano Ondulado y Descensos Específicos VPV.

Proporción de Flujo de Demanda en una dirección (vph)	Factor de Ajuste	
	Terreno plano y Descensos Específicos	Lomerío
≤100	1.0	0.67
200	1.0	0.75
300	1.0	0.83
400	1.0	0.90
500	1.0	0.95
600	1.0	0.97
700	1.0	0.98
800	1.0	0.99
≥900	1.0	1.00

Nota: Se recomienda interpolar a la décima más cercana (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

El terreno plano toma este factor como 1 y que se está remitiendo a las condiciones base en las que se basa el estudio. Los descensos específicos para el análisis se trabajan como terreno plano.

Para las pendientes específicas ascendentes específicas se trabajan la siguiente Figura notando en ella como el incremento de la longitud del tramo en una pendiente pronunciada afecta en gran medida la Velocidad Promedio de Viaje.

Figura 23. Factor de Ajuste por Pendiente Fg Ascensos Específicos VPV.

Pendiente (%)	Longitud Pendiente (km)	Proporción de flujo de demanda direccional (vph)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≥3 <3.5	0.4	0.78	0.84	0.87	0.91	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	0.75	0.83	0.86	0.90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	0.73	0.81	0.85	0.89	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	0.73	0.79	0.83	0.88	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	0.73	0.79	0.83	0.87	0.99	0.99	1.0	1.0	1.0
	3.2	0.73	0.79	0.82	0.86	0.98	0.98	0.99	1.0	1.0
	4.8	0.73	0.78	0.82	0.85	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98
≥6.4	0.73	0.78	0.81	0.85	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	
≥3.5 <4.5	0.4	0.75	0.83	0.86	0.90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	0.72	0.80	0.84	0.88	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	0.67	0.77	0.81	0.86	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	0.65	0.73	0.77	0.81	0.94	0.95	0.97	1.0	1.0
	2.4	0.63	0.72	0.76	0.80	0.93	0.95	0.96	1.0	1.0
	3.2	0.62	0.70	0.74	0.79	0.93	0.94	0.96	1.0	1.0
	4.8	0.61	0.69	0.74	0.78	0.92	0.93	0.94	0.98	1.0
≥6.4	0.61	0.69	0.73	0.78	0.91	0.91	0.92	0.96	1.0	
≥4.5 <5.5	0.4	0.71	0.79	0.83	0.88	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.8	0.60	0.70	0.74	0.79	0.94	0.95	0.97	1.0	1.0
	1.2	0.55	0.65	0.70	0.75	0.91	0.93	0.95	1.0	1.0
	1.6	0.54	0.64	0.69	0.74	0.91	0.93	0.95	1.0	1.0
	2.4	0.52	0.62	0.67	0.72	0.88	0.90	0.93	1.0	1.0
	3.2	0.51	0.61	0.66	0.71	0.87	0.89	0.92	0.99	1.0
	4.8	0.51	0.61	0.65	0.70	0.86	0.88	0.91	0.98	0.99
≥6.4	0.51	0.60	0.65	0.69	0.84	0.86	0.88	0.95	0.97	
≥5.5 >6.5	0.4	0.57	0.68	0.72	0.77	0.93	0.94	0.96	1.0	1.0
	0.8	0.52	0.62	0.66	0.71	0.87	0.90	0.92	1.0	1.0
	1.2	0.49	0.657	0.62	0.68	0.85	0.88	0.90	1.0	1.0
	1.6	0.46	0.56	0.60	0.65	0.82	0.85	0.88	1.0	1.0
	2.4	0.44	0.54	0.59	0.64	0.81	0.84	0.87	0.98	1.0
	3.2	0.43	0.53	0.58	0.63	0.81	0.83	0.86	0.97	0.99
	4.8	0.41	0.51	0.56	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
≥6.4	0.40	0.50	0.55	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99	
≥6.5	0.4	0.54	0.64	0.68	0.73	0.88	0.90	0.92	1.0	1.0
	0.8	0.43	0.53	0.57	0.62	0.79	0.82	0.85	0.98	1.0
	1.2	0.39	0.49	0.54	0.59	0.77	0.80	0.83	0.96	1.0
	1.6	0.37	0.45	0.50	0.54	0.74	0.77	0.81	0.96	1.0
	2.4	0.35	0.45	0.49	0.54	0.71	0.75	0.79	0.96	1.0
	3.2	0.34	0.44	0.48	0.53	0.71	0.74	0.78	0.94	0.99
	4.8	0.34	0.44	0.48	0.53	0.70	0.73	0.77	0.93	0.98
≥6.4	0.33	0.43	0.47	0.52	0.70	0.73	0.77	0.91	0.95	

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

- **Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). El análisis de la velocidad promedio de viaje se ve afectada por la presencia de vehículos pesados ya que estos deben andar a una velocidad más reducida generando que aquellos vehículos que pueden desarrollar una mejor relación se vean coaccionados por la presencia de estos.

Para estos factores se deben determinar los porcentajes de vehículos pesados y recreacionales presentes en la vía y se encuentran los equivalentes de vehículos pesados y recreacionales a vehículos de pasajeros.

$$f_{HV,VPV} = \frac{1}{(1+P_t(E_t-1)+P_r(E_r-1))} \text{ Ecuación 21.}$$

$f_{HV,VPV}$ == Factor de ajuste por vehículos pesados y recreacionales.

P_t = Porcentaje de vehículos pesados.

E_t = Equivalente de camiones y buses.

P_r = Porcentaje de vehículos recreacionales.

E_r = Equivalente de vehículos recreacionales.

Del mismo modo de factor de ajuste por pendiente este factor se ajusta de acuerdo al sector de estudio de la siguiente manera.

- Tramos amplios en terreno plano o lomerío.
- Pendientes específicas ascendentes.

- **Pendientes específicas descendentes.**

De esta manera y de forma similar al factor de ajuste por pendiente obtenemos dos Figuras donde se presentan los factores para los diferentes tipos de terrenos a estudiar.

Figura 24. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Pesados y Recreacionales en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos VPV.

Tipo de Vehículo	Proporción de flujo de Demanda direccional (vph)	Terreno Plano y Descensos Específicos	Lomerío
Camiones, E _C	≤100	1.9	2.7
	200	1.5	2.3
	300	1.4	2.1
	400	1.3	2.0
	500	1.2	1.8
	600	1.1	1.7
	700	1.1	1.6
	800	1.1	1.4
	≥900	1.0	1.3
Recreacionales, E _R	Todos los flujos	1.0	1.1

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

A continuación se presentan las equivalencias en pendientes ascendentes para vehículos recreacionales y vehículos pesados.

Figura 25. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Recreacionales en Ascensos Específicos para Er VPV.

Pendiente (%)	Longitud Pendiente (km)	Proporción de flujo de demanda direccional (vph)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≥ 3 ≤ 3.5	≤ 0.4	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>0.4 ≤ 1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>1.2 ≤ 2.0	1.3	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>2.0 ≤ 3.6	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>3.6	1.5	1.4	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 3.5 < 4.5	≤ 1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>1.2 ≤ 5.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>5.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 4.5 < 5.5	>4.0	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≤ 4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 5.5 < 6.5	≤ 1.2	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>1.2 ≤ 4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	>4.0	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
≥ 6.5	≤ 4.0	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	>5.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	>4.0 ≤ 5.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Figura 26. Factor de Ajuste por presencia de Vehículos Pesados Et en Ascensos Específicos para VPV.

Pendiente (%)	Longitud Pendiente (km)	Proporción de flujo de demanda direccional (vph)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≥ 3 < 3.5	0.4	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.8	1.7	1.3	1.1
	0.8	3.7	3.4	3.3	3.2	2.7	2.6	2.6	2.3	2.0
	1.2	4.6	4.4	4.3	4.2	3.7	3.6	3.4	2.4	1.9
	1.6	5.2	5.0	4.9	4.9	4.4	4.2	4.1	3.0	1.8
	2.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.3	5.0	4.8	3.6	2.9
	3.2	7.3	6.9	6.7	6.5	5.7	5.5	5.3	4.1	3.5
	4.8	8.4	8.0	7.7	7.5	6.5	6.2	6.0	4.6	3.9
	≥ 6.4	9.4	8.8	8.6	8.3	7.2	6.9	6.6	4.8	3.7
≥ 3.5 < 4.5	0.4	3.8	3.4	3.2	3.0	2.3	2.2	2.2	1.7	1.5
	0.8	5.5	5.3	5.1	5.0	4.4	4.2	4.0	2.8	2.2
	1.2	6.5	6.4	6.5	6.5	6.3	5.9	5.6	3.6	2.6
	1.6	7.9	7.6	7.4	7.3	6.7	6.6	6.4	5.3	4.7
	2.4	9.6	9.2	9.0	8.9	8.1	7.9	7.7	6.5	5.9
	3.2	10.3	10.1	10.0	9.9	9.4	9.1	8.9	7.4	6.7
	4.8	11.4	11.3	11.2	11.2	10.7	10.3	10.0	8.0	7.0
	≥ 6.4	12.4	12.2	12.2	12.1	11.5	11.2	10.8	8.6	7.5
≥ 4.5 < 5.5	0.4	4.4	4.0	3.7	3.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5
	0.8	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.7	5.6	4.6	4.2
	1.2	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	1.6	9.2	9.2	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	8.8
	2.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.2	10.1
	3.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.6	11.6	11.5	11.1	10.9
	4.8	13.7	13.7	13.6	13.6	13.3	13.1	13.0	11.9	11.3
	≥ 6.4	15.3	15.3	15.2	15.2	14.6	14.2	13.8	11.3	10.0
≥ 5.5 < 6.5	0.4	4.8	4.6	4.5	4.4	4.0	3.9	3.8	3.2	2.9
	0.8	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	1.2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	1.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.1
	2.4	11.9	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	11.6
	3.2	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.7	12.7	12.6	12.5
	4.8	14.4	14.4	14.4	14.4	14.3	14.3	14.3	14.2	14.1
	≥ 6.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.2	15.1	15.1	14.9	14.8
≥ 6.5	0.4	5.1	5.1	5.0	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	4.4
	0.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
	1.2	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	1.6	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.2
	2.4	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.7
	3.2	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.6
	4.8	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.3	14.2
	≥ 6.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.1

Nota: Se recomienda interpolar longitud y flujo al décimo (0.1) más cercano.

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Aunque ya se han incluido los descensos específicos en los factores anteriores existen casos particulares

cuando la pendiente pronunciada se extiende por un trayecto significativo generando que los vehículos pesados deban manejar con relaciones bajas y aplicando el freno del motor para poder controlar el vehículo.

Esta situación presenta un análisis donde se incluyen la cantidad de vehículos pesados que se mueven a velocidad de régimen en el tramo dando forma a esta nueva ecuación.

$$f_{HV,VPV} = \frac{1}{1 + P_{tc} * P_t(E_{tc}-1) + (1 - P_{tc}) P_t(E_t-1) + P_r(E_r-1)} \text{ Ecuación 22.}$$

P_{tc} = Proporción de camiones a velocidad de régimen.

E_{tc} = Equivalencia de vehículos pesados a velocidad de régimen.

E_t y E_r = Se obtienen de la Figura 11.

Figura 27. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados a Velocidad de Régimen Etc en Descensos Específicos para VPV.

Diferencia entre VFL y velocidad de régimen (km/h)	Proporción de flujo de demanda direccional, VPV (vph)								
	≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≤ 24	4.7	4.1	3.6	3.1	2.6	2.1	1.6	1	1
32	9.9	8.7	7.8	6.7	5.8	4.9	4	2.7	1
40	15.1	13.5	12	10.4	9	7.7	6.4	5.1	3.8
48	22	19.8	17.5	15.6	13.1	11.6	9.2	6.1	4.1
56	29	26	23.1	20.1	17.3	14.6	11.9	9.2	6.5
≤ 64	35.9	32.3	28.6	24.9	21.4	18.1	14.7	11.3	7.9

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

▪ **Estimación de la velocidad promedio de viaje VPV**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Para determinar esta Velocidad se parte de la Velocidad a Flujo Libre (VFL), el volumen de flujo de demanda, el volumen de flujo opuesto y el factor de ajuste por zonas de no rebase en la dirección de análisis y se calcula mediante las siguiente ecuación :

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np} \text{ Ecuación 23.}$$

VPV_d = Velocidad promedio de recorrido en el sentido de análisis.

VFL =Velocidad a Flujo Libre.

V_{dVPV} = Volumen de flujo de demanda para determinación VPV en sentido de análisis.

V_{oVPV} = Volumen de flujo de demanda para determinación de VPV en sentido opuesto.

f_{np} = Factor de ajuste por zonas de no adelantamiento en la dirección de análisis.

Para la determinación del factor de ajuste por zonas de no adelantamiento se ingresa con el V_o ajustado y la velocidad a flujo libre encontrada en el primer paso de los cálculos.

Figura 28. Factor de Ajuste por Porcentaje de Zonas de no Adelantamiento Fnp para VPV.

Proporción de flujo de demanda Opuesto (viph)	Porcentaje de zonas de no rebase				
	≤ 20	40	60	80	100
VFL ≥ 105 km/h					
≤ 100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥ 1600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
VFL ≥ 95 km/h					
≤ 100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥ 1600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
VFL ≥ 90 km/h					
≤ 100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥ 1600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
VFL ≥ 80 km/h					
≤ 100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥ 1600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
VFL ≥ 70 km/h					
≤ 100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥ 1600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

NOTA: Se recomienda Interpolarse a la décima más cercana (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

- **Porcentaje de demoras de adelantamiento PTSF**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Este factor para clasificar los Niveles de Servicio se aplican únicamente a las vías clase I y II. El ajuste para el volumen de demanda es similar al realizado para la velocidad promedio de recorrido, solo que utilizan distintos factores de ajustes y equivalencias encontradas en nuevas Figuras. Para estimar los volúmenes de flujo de demanda para determinar el PTFS se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,PTSF} * f_{HV,PTSF}} \text{ Ecuación 24.}$$

$$f_{HV,PTSF} = \frac{1}{(1 + P_t(E_t - 1) + P_r(E_r - 1))} \text{ Ecuación 25.}$$

$V_{i,PTSF}$ =Volumen de flujo de demanda i para la estimación de PTFS.

I =d, para la dirección de análisis; o, para la dirección opuesta.

$f_{g,PTSF}$ =Factor de ajuste por pendiente, ver Figuras 26,27.

$f_{HV,PTSF}$ = Factor de ajuste por presencia de vehículos pesados para PTFS.

El tipo de terreno para el factor de ajuste por pendiente, para PTFS se define de manera similar a la presentada para el cálculo de VPV.

Figura 29. Factor de Ajuste por Pendiente Fg en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos para PTSF.

Proporción de Flujo de Demanda en Una Dirección (vph)	Terreno Plano y Descensos específicos	Lomerío
≤100	1.00	0.73
200	1.00	0.80
300	1.00	0.85
400	1.00	0.90
500	1.00	0.96
600	1.00	0.97
700	1.00	0.99
800	1.00	1.00
≥900	1.00	1.00

Nota: Se recomienda interpolar a la décima más cercana (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Figura 30. Factor de Ajuste por Pendiente Fg en Ascensos Específicos para PTSF.

Pendiente (%)	Longitud Pendiente (km)	Proporción de flujo de demanda direccional, (vp/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≥ 3 < 3.5	0.4	1.0	0.99	0.97	0.96	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	0.8	1.0	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	1.2	1.0	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	1.6	1.0	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	2.4	1.0	0.99	0.98	0.97	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	3.2	1.0	0.99	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	4.8	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
≥ 6.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	
≥ 3.5 < 4.5	0.4	1.0	0.99	0.98	0.97	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92
	0.8	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95
	1.2	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
	1.6	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	2.4	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	3.2	1.0	1.0	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	4.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 6.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
≥ 4.5 < 5.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.99	0.99	0.97	0.97
	≥ 0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 5.5	TODAS	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

NOTA: Se recomienda interpolar a la décima más cercana. (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Para el cálculo de ajuste por pendiente en el PTSF no se consideran situaciones especiales de vehículos viajando a velocidad de régimen en descenso por lo tanto solo se aplica la formula presentada al inicio y las Figuras se reducen a dos.

Figura 31. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados y Recreacionales en Terreno Plano, Ondulado y Descensos Específicos PTSF.

Tipo de Vehículo	Proporción de Flujo De Demanda direccional (vph)	Terreno Plano y Descensos Específicos	Lomerío
Camiones, E_C	≤100	1.1	1.9
	200	1.1	1.8
	300	1.1	1.7
	400	1.1	1.6
	500	1.0	1.4
	600	1.0	1.2
	700	1.0	1.0
	800	1.0	1.0
	≥900	1.0	1.0
Recreacionales, E_R	Todos los flujos	1.0	1.0

Nota: no se recomienda interpolar, seleccionar el más cercano

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Figura 32. Factor de Ajuste por Presencia de Vehículos Pesados en Ascensos Específicos PTSF.

Pendiente (%)	Longitud Pendiente (km)	Proporción de flujo de demanda direccional, (veh/h)								
		≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
EQUIVALENCIA DE CAMIONES (E_C) A VEHICULOS LIGEROS										
≥ 3 ≤ 3.5	≤ 3.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.5	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.6	1.4	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 3.5 < 4.5	≤ 1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.6	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.8	1.4	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥ 6.4	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
≥ 4.5 < 5.5	≤ 1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	3.2	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
	4.8	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
	≥ 6.4	3.5	3.1	2.9	2.7	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8
≥ 5.5 < 6.5	≤ 1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	2.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	3.2	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
	4.8	3.4	3.2	3.0	2.9	2.4	2.3	2.3	1.9	1.9
	≥ 6.4	4.5	4.1	3.9	3.7	2.9	2.7	2.6	2.0	2.0
≥ 6.5	≤ 0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4
	2.4	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	3.2	2.9	2.8	2.7	2.7	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
	4.8	4.2	3.9	3.7	3.6	3.0	2.8	2.7	2.2	2.2
	≥ 6.4	5.0	4.6	4.4	4.2	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
EQUIVALENCIAS DE VEHICULOS RECREACIONALES (E_R) A VEHICULOS LIGEROS										
Todas	Todas	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

NOTA: Se recomienda interpolar a la décima más cercana. (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Ahora se define la fórmula para calcular el porcentaje de demoras de adelantamiento:

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right) \text{ Ecuación 26.}$$

$PTSF_d$ = Porcentaje de tiempo en seguimiento en la dirección de análisis.

$PTFB_d$ = Porcentaje de tiempo en seguimiento base, en la dirección de análisis.

$f_{np,PTSF}$ = Ajuste al PTSF por porcentajes de zonas de no rebase.

$V_{d,PTSF}$ = Volumen de flujo de demanda ajustado en la dirección de análisis.

$V_{o,PTSF}$ = Volumen de flujo de demanda ajustado en sentido opuesto.

El porcentaje de tiempo en seguimiento base se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_{d,PTSF}^b)}) \text{ Ecuación 27.}$$

Según (HCM Highway Capacity Manual, 2010). Los términos a y b son constantes y se obtienen de Figuras ofrecidas por el método se encuentra con el volumen de demanda ajustado opuesto.

Figura 33. Calculo de las constantes a y b para PTFB.

Proporción de flujo de Demanda Opuesto (vph)	Coefficiente <i>a</i>	Coefficiente <i>b</i>
≤200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1,000	-0.0049	0.829
1,200	-0.0054	0.825
1,400	-0.0058	0.821
≥1600	-0.0062	0.817

Nota: se recomienda interpolar el coeficiente *a* a la diezmilésima (0.0001) más cercana, y el coeficiente *b* a la milésima (0.001) más cercana

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Por último calculaos el factor de ajuste por zonas de no rebase a esta Figura se ingresa con la suma de los volúmenes de demanda ajustados y la distribución direccional.

Figura 34. Calculo de Fnp PTSF.

Proporción de flujo en ambos sentidos pf= pfa + pfb (vlph)	Porcentaje de zonas de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
REPARTO DIRECCIONAL 50/50						
≤ 200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1,400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2,000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2,600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3,200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
REPARTO DIRECCIONAL 60/40						
≤ 200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1,400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2,000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2,600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
REPARTO DIRECCIONAL 70/30						
≤ 200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1,400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2,000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
REPARTO DIRECCIONAL 80/20						
≤ 200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1,400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2,000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
REPARTO DIRECCIONAL 90/10						
≤ 200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1,400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

NOTA: Se recomienda interpolar a la décima más cercana. (0.1)

Fuente: (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013)

- **Estimación de Porcentaje de Velocidad a Flujo Libre PFFS**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Este factor solo se utiliza para vías Clase III y se remite a una relación entre la velocidad promedio de viaje y la velocidad a flujo libre ambas calculadas en los términos de clasificación anteriores.

$$PFFS = \frac{VPV_d}{FFS} \text{ Ecuación 28.}$$

- **Determinación de la capacidad**

Según (Secretaría Comunicaciones y Transporte, 2013). Partimos de un volumen de demanda bajo condiciones básicas de 1700 veh/h e intentamos determinar un volumen de demanda bajo las condiciones prevalentes.

Para dicho fin usamos las siguientes ecuaciones:

$$C_{d,VPV} = 1700 * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV} \text{ Ecuación 29.}$$

$$C_{d,PTSF} = 1700 * f_{g,PTSF} * f_{HV,PTSF} \text{ Ecuación 30.}$$

Como se puede observar analizamos la capacidad para velocidad promedio de viaje y para porcentaje de tiempo en seguimiento y utilizando como capacidad el resultado más bajo de estas dos ecuaciones.

CAPITULO IV

4. DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

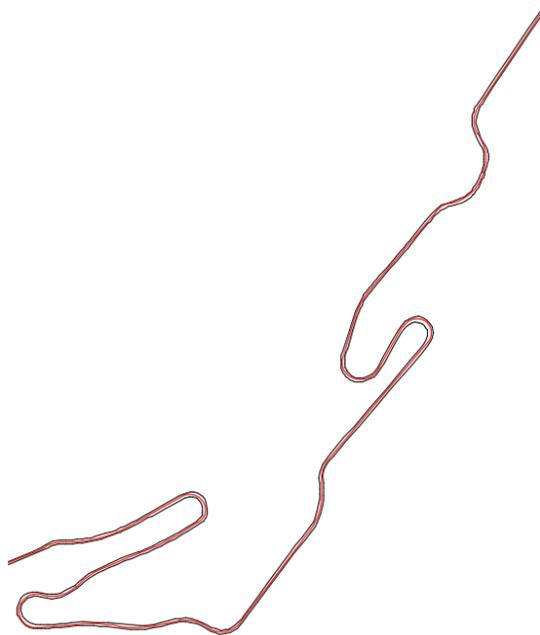
4.1. DATOS EN CAMPO

4.1.1. Características geométricas

4.1.1.1 Alineamiento. Para el estudio de las vías en cuestión fue necesario realizar el levantamiento topográfico con el fin de obtener algunos factores determinantes y condicionantes de los métodos como el radio de la curva más cerrada, la longitud más larga, las pendientes generales y sectores con pendientes críticas. A continuación, se presenta el alineamiento de los tres sectores vistos en planta generando una idea de las malas condiciones de alineamiento de estas:

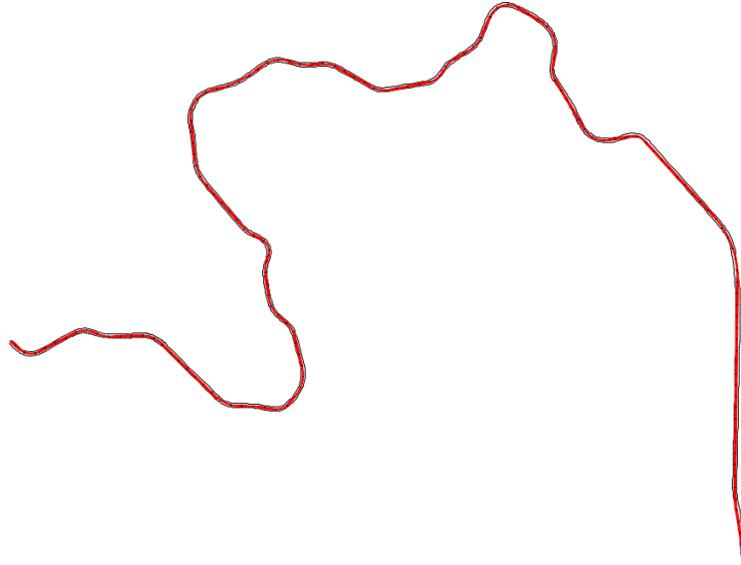
Esta información puede verificarse en los archivos del anexo K.

Figura 35. Levantamiento Vista en Planta Vía Pamplona-Cúcuta



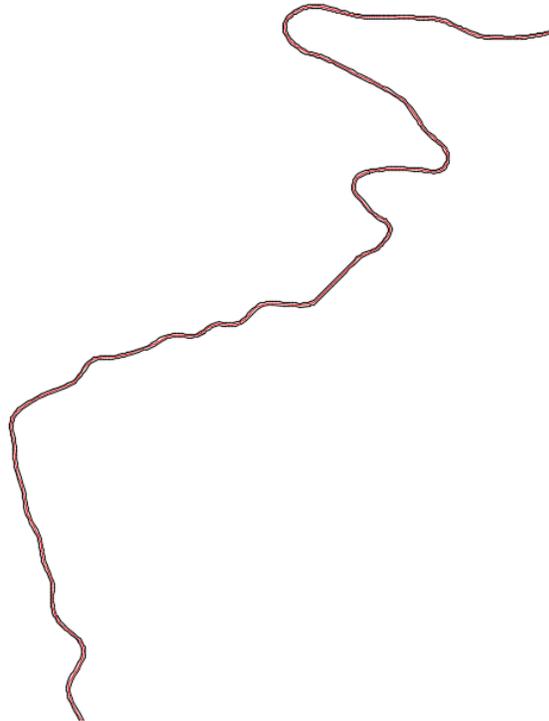
Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

Figura 36. Levantamiento Vista en Planta Vía Bucaramanga-Pamplona



Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

Figura 37. Levantamiento Vista en Planta Vía Chitaga-Cúcuta



Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

4.1.1.2 Cálculo de pendientes. Para el método estadounidense se solicita una longitud de estudio de sector que, en nuestro caso se tomó de 400 metros debido a la variabilidad que posee el método con respecto a las vías colombianas, esto hace que los resultados sean demasiado variables para estos análisis. Para el método colombiano se tomó la longitud de análisis total de 3 km remitiéndonos así al cálculo de la pendiente con la siguiente ecuación:

Ecuación 31.

$$P(\%) = \frac{DELTA DE ALTURAS}{LONGITUD} * 100 = \frac{COTA MAYOR - COTA MENOR(msnm)}{LONGITUD (m)} * 100$$

De los archivos anteriormente mencionados se obtiene los datos para cálculo de pendientes con respectivo Abscisado, ver Tabla 1, anexo 3.2, libro “DATOS DE CAMPO”.

Sector pamplona – La Don Juana:

$$P(\%) = \frac{2124.67 - 2107.5(msnm)}{LONGITUD (m)} * 100 = 5,7$$

Sector pamplona – Berlín:

$$P(\%) = \frac{2522.9 - 2503.8(msnm)}{LONGITUD (m)} * 100 = 6,3$$

Sector pamplona – la Lejía:

$$P(\%) = \frac{2470.98 - 2454.1(msnm)}{LONGITUD (m)} * 100 = 5,6$$

Resumiendo, presentamos la tabla 6.

Tabla 3. Pendientes

FIGURA DE PENDIENTES		
PAMPLONA-LA DON JUANA	PAMPLONA- BERLIN	PAMPLONA-LA LEJIA
5,7	6,3	5,6

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Estas pendientes se toman igualmente para el método colombiano por su condición promedio.

4.1.1.3 Calculo de Ancho de Carril y Berma. Para garantizar un ancho de carril promedio real, las mediciones se realizan directamente en el sector. Para este muestreo se tomaron una muestra cada cien metros, de manera que esta fuera representativa.

Para observar anchos de carril y calzada ver Tablas 2,3 y 4, anexo 1.2, libro "DATOS DE CAMPO".

Para observar promedios de carril y calzada ver Tablas 5,6 y 7, anexo 1.2, libro "DATOS DE CAMPO".

Para registro fotográfico remitir a anexo C.

▪ **Consideración de berma**

Para las vías de dos carriles de esta zona se puede apreciar que los anchos de berma no son utilizables y en algunos puntos no se presenta ningún ancho. Por esta

razón, para la implementación de los métodos tomados el ancho de berma como cero como se muestra en las fotografías.

En algunos sectores las bermas cuentan con una longitud de 15 a 20 centímetros que en condiciones de funcionamiento no se tienen en cuenta. Para registro fotográfico remitir a anexo D.

4.1.1.4 Puntos de acceso. Los niveles de servicio tienden a desmejorar según como aumenta el número de accesos a diferencia de la capacidad que es ajena a este factor por su definición. Se muestran los puntos de accesos para los tres sectores de estudio en las Tablas 14, 15 y 16 del anexo 1.2, libro “DATOS DE CAMPO”. Para registro fotográfico remitir a anexo E.

4.1.1.5. Medición de Velocidades a Flujo Libre para el HCM 2010. En el trabajo de velocidades contamos con un radar de velocidades” Bushnell II (101911)” que facilitó la toma de estos datos con alta precisión pues este equipo maneja una precisión de más o menos 2 (km/h). Según los parámetros del método estadounidense estas mediciones deben garantizarse con los volúmenes mixtos de (veh/h) y analizar una muestra de por lo menos 100 (cp) vehículos a flujo libre. Una muestra por debajo de estos parámetros no puede considerarse representativa.

Se presentan las Figuras de muestras de velocidades tomadas en campo en la curva de radio más pequeño y la recta más larga junto con su respectiva abscisa, Figuras de análisis con los resultados promedio de estas y flujo en una hora.

Los datos de velocidades se podrán observar las Tablas de 8 al 13, del anexo 1.2, libro “DATOS DE CAMPO”.

Nótese que todos los flujos son menores a 200 (cp/h). Bajo este concepto la velocidad a flujo libre no debe someterse a fórmulas o factores de ajuste y se toma este valor como la velocidad a flujo libre propiamente dicha.

4.1.1.6 Estado de la Superficie de Rodadura. En cuanto al aspecto de superficie de rodadura tenemos, en general buenas condiciones en dos de las tres vías de análisis.

Para la clasificación de esta característica se usará el nivel de funcionalidad que se fundamenta en una inspección visual a criterio del ingeniero, un registro fotográfico servirá para su previa clasificación.

Para el sector de 3 km del sector pamplona – La Don Juana se puede ver un pavimento deteriorado en varios puntos que, con el tiempo se incrementará y puede generar pelotones obligando a los conductores de automóviles que suelen ir a una velocidad media, a reducirla considerablemente.

Para registro fotográfico remitir a anexo F.

Basándose en la inspección visual del registro fotográfico le damos un nivel de funcionalidad de 3 para el sector Pamplona – La Don Juana y nivel de funcionalidad 4 para el sector restante de Pamplona – Berlín y Pamplona – La Lejía.

4.1.2. Características del tránsito

Las fechas de toma de aforos están relacionadas en la Tabla 17, del anexo 1.2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

Para la determinación de la capacidad y nivel de servicio se requiere una serie de datos que solo pueden obtenerse de aforo serio.

Para nuestro caso en particular se realizaron tres (3) aforos vehiculares en las vías en estudio durante tres años consecutivos aumentando la exactitud del trabajo estadístico, estos se tomaron en las siguientes fechas:

Las fechas se tomaron al azar y teniendo en cuenta que no hubiera eventualidades que pudieran alterar significativamente los volúmenes normales del tránsito tales como:

- Ferias y fiestas.
- Cierres parciales de la vía.
- Fechas festivas.
- Derrumbes que puedan presentar pelotones.

Por definición de INVIAS (Instituto Nacional De Vías) se les asignaran a los tramos los nombres que se estipulan en la entidad, finiquitando de la siguiente manera:

- Pamplona – La Don Juana.
- Pamplona – Berlín
- Pamplona – La lejía

De esta manera durante todo el documento se manejarán estas referencias para las vías.

Una vez digitalizados los datos que se presentan en el anexo digital 1.2 calculamos las Figuras de resúmenes de volumen con TPS (transito promedio semanal), horas pico y volúmenes diarios.

Para observar el detalle de los datos ver Figura 18, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

De las Figuras anteriores se puede reducir y condensar los datos analizando únicamente las horas pico. Es importante observar que todas las horas pico se encuentran en el año 2016 lo que hace tentador obtener los demás datos del aforo de este año únicamente.

Para observar el detalle de los datos ver Tabla 19, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

Luego de este primer análisis se puede obtener la hora pico de los tres aforos en cada sector.

Para observar el detalle de los datos ver Tabla 20, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

Ya con los datos de horas pico se puede recurrir a la búsqueda del q Max de 15 para la hora pico de cada sector de análisis en el 2016.

Ahora se presenta el día donde se presenta la hora pico, el intervalo de dicha hora y el q Max de 15 minutos.

Para observar el detalle de los datos ver Tabla 21, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

Es importante analizar que el día de hora pico no se presenta para la vía Pamplona.

– La lejía en el fin de semana, lo que nos puede dar una idea de la función que esta puede cumplir y que porcentaje de su utilidad está en funcionamiento.

Otro factor condicionante para la capacidad y nivel de servicio en ambos métodos es la distribución direccional del tráfico.

Para observar el detalle de los datos de distribución por sentido ver Tabla 22, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

Ya con la distribución por sentido se determina el porcentaje de camiones tanto para ambos sentidos para el método colombiano como por sentido para el método del HCM 2010.

Para observar el detalle de los datos ver Tabla 23, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

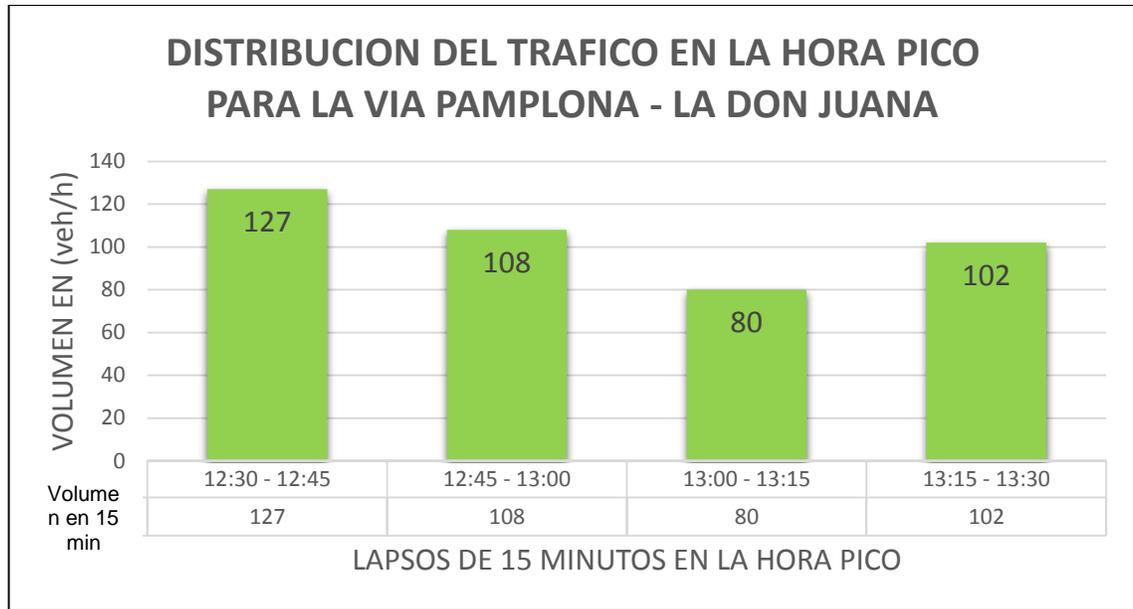
4.1.2.1. Determinación del Factor Hora Pico. Para determinar el factor hora pico se remite nuevamente a la hora pico y su q Max de 15 minutos, aplicando la fórmula:

$$FHP = \frac{Q(\text{hora pico, ambos sentidos})}{(q \text{ Max de 15 min}) * 4} \text{ Ecuación 32}$$

También puede hallarse por Figura, con la capacidad C60, podría ser demasiado impreciso e innecesario cuando se puede obtener con los datos del aforo ya que esta Figura es demasiado conservadora con respecto a la realidad de algunas vías. Para observar el detalle del FHP calculado, por Figura y el grado de error entre estos dos datos ver Tabla 24, anexo 1,2, libro “RESUMEN DE DATOS”.

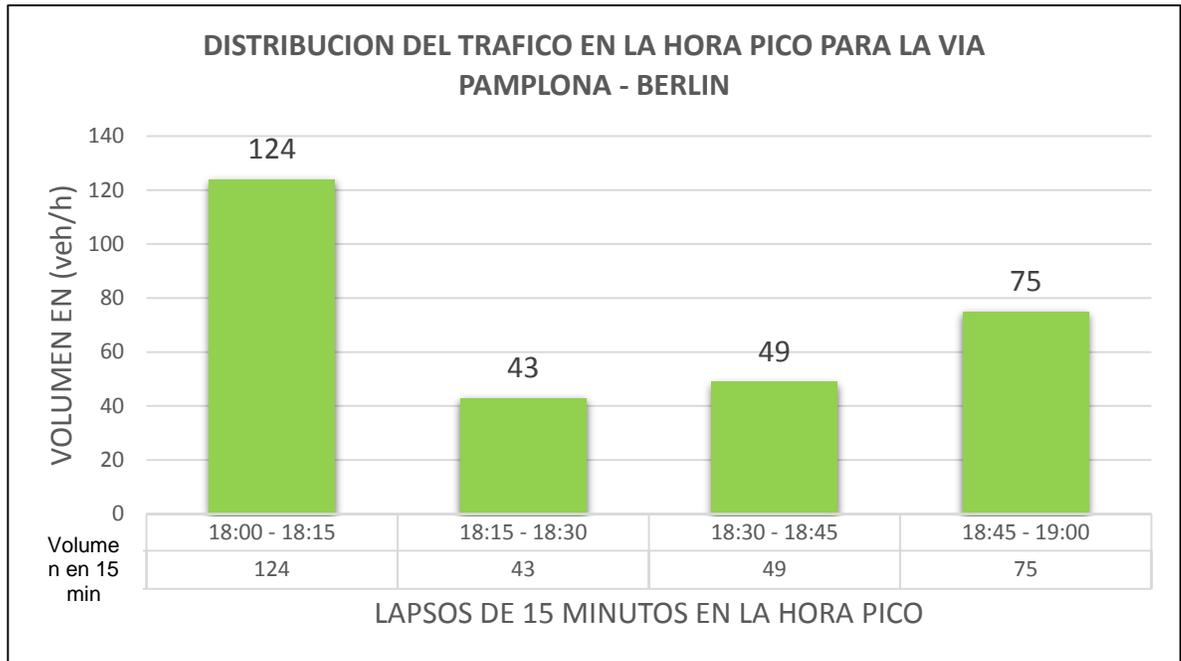
Es importante entender el concepto del factor hora pico ya que nos da una idea de distribución del tráfico en esta hora que, para esta situación y el método colombiano es el representativo. De las gráficas nos podemos dar una idea de las distribuciones de las vías en las horas pico.

Figura 38. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.



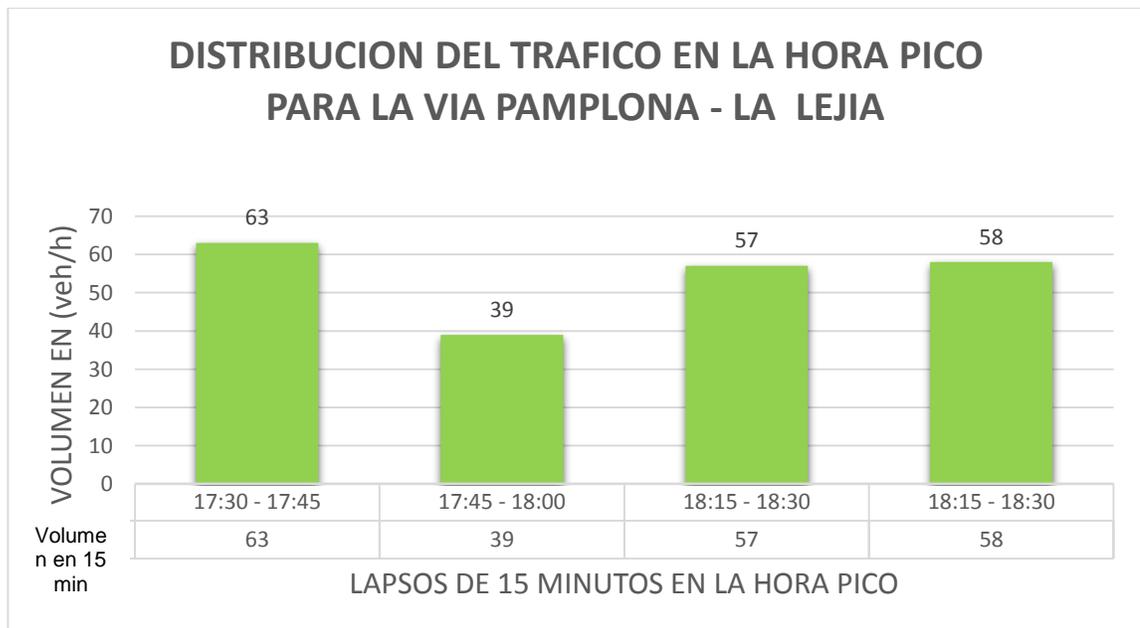
Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

Figura 39. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Figura 40. Análisis Comportamiento del Tráfico en Hora Pico.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

En la Tabla 21 se puede apreciar la distribución de las tazas de 15 minutos en las horas pico, que para el sector de Pamplona – Berlín se torna demasiado diferente el uno con respecto al otro pues una de las tazas de 15 minutos es demasiado alta, determinando un factor de hora pico del 58% a diferencia de los otros dos tramos de análisis.

Lo que quiere decir este factor en síntesis es que, entre más cercano el número a 1 el flujo es más uniforme, supongamos un factor de hora pico de 1, esto quiere decir que las tazas de quince minutos son exactamente iguales y el flujo es constante en su totalidad.

4.3. CALCULOS

4.3.1. Calculo de capacidad y niveles de servicio por el método colombiano implementado por el instituto nacional de vías (INVIAS)

4.3.1.1. Para la Vía de Pamplona – La Don Juana

Tabla 4. Datos de entrada Método Colombiano La Don Juana.

DATOS DE ENTRADA		UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)		metros	3,62
ANCHO DE BERMA		metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA		metros	27,73
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)			3
ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcional)		%	3
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS		%	36.2
PENDIENTE ASCENDENTE		%	5.7
DISTRIBUCION DIRECCIONAL			53/47
LONGITUD DEL TRAMO		kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)		grados	101,64
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE (tabla)		%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	417		
q max 15 MINUTOS	127		

Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

- **Calculo de la capacidad**

Como se cita anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C60 = Fpe * Fd * Fcb * Fp * Ci$$

Obteniendo los factores de las Figuras 4, 5, 6 y 7 respectivamente se puede sintetizar los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
Fpe	0,906
Fd	0,949
Fcb	0,968
Fp	0,6804

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,906 * 0,949 * 0,968 * 0,6804 * 3200 = 1812 \text{ cp/h}$$

Para el factor hora pico se toma de la Tabla 8 del anexo 1,2, en el libro “RESUMEN DE DATOS 2016 “obteniendo:

$$FHP = 0,8208$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1812 * 0,8208 \text{ cp/h}$$

Se calcula las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,230
Q/C5	0,280

- **Calculo de nivel de servicio**

Se determina V_i y F_u de las Figuras 7 y 8 respectivamente.

V_i	63,2
F_u	0,9740

Calculando V_1

$$V_1 = V_i * F_u$$

$$V_1 = 63,2 * 0,9740 = 61,555 \text{ km/h}$$

Se obtiene F_{sr} y F_{cb} de la Figura 9 y 10 respectivamente.

F_{sr}	0,9122
F_{cb}	0,874

Calculando V_2 :

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb}$$

$$V_2 = 61,555 * 0,9122 * 0,874 = 49,0759$$

Se obtienen los datos de F_{p1} y F_{p2} de las Figuras 14 y 15 respectivamente.

Fp1	0,8181
Fp2	0,97

Se determina Fp con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,8181 * 0,97 = 0,7935$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 49,0759 * 0,7935 = 38,946 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se calcula Vc de la Figura 13.

Vc	40,4785
----	---------

Como $V3 < Vc$ se toma a V3 como la velocidad media (V) y se entra a la Figura 17 para determinar niveles de servicio.

$$V = 38,946 \text{ km/h}$$

La vía posee un nivel de servicio E

4.3.1.2. Para la Vía Pamplona – Berlín

Tabla 5. Datos de entrada Método Colombiano Pamplona- Berlin.

DATOS DE ENTRADA		UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)		metros	3,52
ANCHO DE BERMA		metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA		metros	23,25
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)			3
ADJUSTE DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcion		%	4
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS		%	30,3
PENDIENTE ASCENDENTE		%	6,36
DISTRIBUCION DIRECCIONAL			46/54
LONGITUD DEL TRAMO		kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)		grados	79
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE		%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	291		
q max 15 MINUTOS	124		

Fuente: Chaparro,D & Prada, C, 2017

- **Calculo de la capacidad**

Como se citó anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C_{60} = F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p * C_i$$

Obteniendo los factores de las Figuras 4, 5, 6 Y 7 respectivamente se sintetizan los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
Fpe	0,8892
Fd	0,932
Fcb	0,961
Fp	0,681768

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,8892 * 0,932 * 0,961 * 0,681 * 3200 = 1738 \text{ cp/h}$$

Para el factor hora pico se toma de la Tabla 8 del anexo 1,2, del libro "RESUMEN DE DATOS 2016 "se obtiene:

$$FHP = 0,5866$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1738 * 0,5866 = 1019 \text{ cp/h}$$

Se calcula las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,1675
Q/C5	0,2855

- **Calculo de nivel de servicio**

Determinando Vi y Fu de las Figuras 10 y 11 respectivamente.

Vi	59,84
Fu	0,98325

Calculando V1

$$V1 = Vi * Fu$$

$$V1 = 59,84 * 0,98325 = 58,83 \text{ km/h}$$

Se determina Fsr y Fcb de la Figura 12 y 13 respectivamente.

Fsr	0,982324
Fcb	0,854

Calculando V2:

$$V2 = V1 * Fsr * Fcb$$

$$V2 = 58,83 * 0,9823 * 0,854 = 49,3592$$

Se obtienen los datos de Fp1 y Fp2 de las Figuras 14 y 15 respectivamente.

Fp1	0,7752
Fp2	0,9991

Calculando Fp con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,7752 * 0,9991 = 0,7745$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 49,3592 * 0,7745 = 38,2288 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se obtiene Vc de la Figura 16.

Vc	38,4625
----	---------

Como $V3 < Vc$ se toma a V3 como la velocidad media (V) y se entra a la Figura 17 para determinar niveles de servicio.

$$V = 38,2288 \text{ km/h}$$

La vía posee un nivel de servicio D

4.3.1.3. Para la Vía Pamplona – La Lejía

Tabla 6. Datos de entrada Método Colombiano Pamplona- La Lejía.

DATOS DE ENTRADA	UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)	metros	3,46
ANCHO DE BERMA	metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA	metros	20,47
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)		3
ADJUSTE DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcion)	%	4
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS	%	29,8
PENDIENTE ASCENDENTE	%	5,63
DISTRIBUCION DIRECCIONAL		54/46
LONGITUD DEL TRAMO	kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)	grados	87
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE (tabla)	%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	217	
q max 15 MINUTOS	63	

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

- **Calculo de la capacidad**

Como se citó anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C60 = Fpe * Fd * Fcb * Fp * Ci$$

Obteniendo los factores de las Figuras 4, 5, 6 y 7 respectivamente se puede sintetizar los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
Fpe	0,9074
Fd	0,932
Fcb	0,958
Fp	0,7017

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,9074 * 0,932 * 0,958 * 0,7017 * 3200 = 1819 \text{ cp/h}$$

Para el factor hora pico se toma la Tabla 8 del anexo 3,2, en el libro “RESUMEN DE DATOS 2016 “obteniendo:

$$FHP = 0,8611$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1819 * 0,8611 = 1567 \text{ cp/h}$$

Se calculan las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,1193
Q/C5	0,1385

- **Calculo de nivel de servicio**

Se determina V_i y F_u de las Figuras 10 y 11 respectivamente.

V_i	63,48
F_u	0,98807

Calculando V_1 :

$$V_1 = V_i * F_u$$

$$V_1 = 63,48 * 0,98807 = 62,72 \text{ km/h}$$

Se obtiene F_{sr} y F_{cb} de la Figura 12 y 13 respectivamente.

F_{sr}	0,977
F_{cb}	0,842

Calculando V_2 :

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb}$$

$$V_2 = 62,72 * 0,977 * 0,842 = 51,59 \text{ km/h}$$

Se determinan los datos de F_{p1} y F_{p2} de las Figuras 14 y 15 respectivamente.

Fp1	0,7994
Fp2	1,0006

Se calcula Fp con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,7994 * 1,0006 = 0,7998$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 51,59 * 0,7998 = 41,261 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se calcula Vc de la Figura 16.

Vc	37,21
----	-------

Como V3 no es < que Vc se procede a calcular otra velocidad media de viaje.

Determinando la longitud Lc (longitud de la curva):

$$Lc = \text{Radio} * \text{Deflexion} * \left(\frac{\pi}{180}\right)$$

$$Lc = 20,47 * 87 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 31,082$$

Calculando Lda:

$$Lda = Lc + 130$$

$$Lda = 31,082 + 130 = 161,082$$

Ahora se calcula L3 con la siguiente ecuación:

$$L3 = 1000 * L - Lda$$

$$L3 = 1000 * 3 - 161,082 = 2838,91$$

Se calcula el tiempo T3 con la ecuación:

$$T3 = 3.6 * L3 / V3$$

$$T3 = 3.6 * 2838,91 / 41,261$$

$$T3=247,62 \text{ s}$$

Se calculan los tiempos de aceleración y desaceleración con las siguientes ecuaciones:

$$td1 = \frac{(-0.278 V3 + (0.077 * V3^2 - 49.40)^{1/2} * 2}{-0.19}$$

$$td2 = \frac{(-0.267 V3 + (0.071 * V3^2 - 0.60 Lc)^{1/2}}{-0.30}$$

$$tda = \frac{(-0.256 V3 + (0.065 * V3^2 - 0.20 Lc)^{1/2}}{0.10}$$

$$Tda = td1 + td2 + tda$$

$$td1 = \frac{(-0.278 * 41,334 + (0.077 * 41,334^2 - 49.40)^{1/2} * 2}{-0.19} = 25,59$$

$$td2 = \frac{(-0.267 * 41,334 + (0.071 * 41,334^2 - 0.60 * 31,082)^{1/2}}{-0.30} = 3,01$$

$$tda = \frac{(-0.256 * 41,334 + (0.065 * 41,334^2 - 0.20 * 31,082)^{1/2}}{0.10} = 2,48$$

Finalmente se procede a calcular la velocidad media:

$$Tda = 25,54 + 3,01 + 2,475 = 31,093$$

$$T = T3 + Tda$$

$$velocidad\ media = 3600 * L/T$$

$$T = 247,62 + 31,093 = 278,71$$

$$velocidad\ media = 3600 * \frac{3}{278,71} = 38,749\ km/h$$

Con la velocidad media se remite a la Figura 17 para determinar el nivel de servicio. La vía posee un nivel de servicio D.

A continuación, se presenta en forma resumida todos los datos anteriormente calculados, organizados en la hoja de trabajo N. 1 estipulada por el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) con el fin de resumir y presentar los datos de manera clara y concisa.

Figura 41. Hoja de Trabajo Método Colombiano.

CARRETERAS DE DOS CARRILES						
DETERMINACION DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO						
TRAMO	5	SECTOR	Puesto de aduanas	SECTOR	TIPICO	
NOMBRE	Via Pamplona - la don juana			CRITICO	X	
CALCULO		REVISÓ	ING EDGAR PEREZ FLOREZ	FECHA	23/05/2017	
1. DATOS GEOMETRICOS Y DE TRANSITO						
BERMA (m)	0	TIPO DE TERRENO (P,O,M,E)			MONTAÑOZO	
CALZADA(m)	7,24	PENDIENTE (%):			5.7	
BERMA (m)	0	LONGITUD(km):			3	
		RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA(m):			27.73	
		DEFLEXION DE LA CURVA (grados):			101.64	
ESTADO DE SUPERFICIE DE RODADURA	IRI (mm/m)	ÁREA(%)		N.F (2 a 5)		3
VOLUMEN TOTAL EN AMBOS SENTIDOS (Q) en (veh/h) :			417			
DISTRIBUCION POR SENTIDOS (Ascensos/Descenso):			53		/ 47	
COMPOSICION DEL TRANSITO (%)		A : 63,9	B : 14,18	C : 21,92	B +C : 36,1	
ZONAS DE NO REBASE (%)		100				
2. CALCULO DE LA CAPACIDAD C60 Y C5						
Fpe X (TABLA 1)	Fd X (TABLA)	Fcb X (TABLA)	Fp X (TABLA)	Ci = (veh/h)	C60 (veh/h)	
0,906	0,949	0,968	0,6804	3200	1812	
C60 x (veh/h)		FPH = (CALCULADO)		C5 (veh/h)		
1812		0,82087		1487		
Q /	C60 =	Q/C60		Q /	C5 =	Q/C5
417	1812	0,2301		417	1487	0,2803
3. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO						
Vi X (TABLA)	fu = (TABLA)	V1 (km/m)	f _{sr} X (TABLA)	f _{cb} X (TABLA)	V1 = (TABLA)	V2 (1) (km/h)
63,2	0,973	61,555	0,9122	0,874	61,555	49,075
f _{p1} X (TABLA)	f _{p2} = (TABLA)	Fp X	V2 = DE (1)	V3 (2) (km/h)	Vc (km/h) (TABLA)	
0,8181	0,97	0,7935	49,075	38,944	40,4785	
Si fp > 1.00 hacer fp = 1.00						
Si V3 ≤ Vc, V = V3 (DE (2))			V (DE (2) Ó (3))		NIVEL DE SERVICIO (TABLA)	
Si V3 > Vc CALCULAR V CON LA HOJA DE TRABAJO No. 2 (3)			38,944		E	
HOJA DE TRABAJO N.1						

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Figura 42. Hoja de Trabajo Método Colombiano

CARRETERAS DE DOS CARRILES						
DETERMINACION DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO						
TRAMO	3	SECTOR	entrada alta universidad	SECTOR	TIPICO	
NOMBRE	Via Pamplona - Berlin				CRITICO	X
CALCULÓ		REVISÓ	ING EDGAR PEREZ FLOREZ	FECHA	23/05/2017	
1. DATOS GEOMETRICOS Y DE TRANSITO						
BERMA (m)	0	TIPO DE TERRENO (P,O,M,E)			MONTAÑOZO	
CALZADA(m)	7,04	PENDIENTE (%):			6,36	
BERMA (m)	0	LONGITUD(km):			3	
		RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA(m):			23,25	
		DEFLEXION DE LA CURVA (grados):			79	
ESTADO DE SUPERFICIE DE RODADURA	IRI (mm/m)		ÁREA(%)		N.F (2 a 5)	4
VOLUMEN TOTAL EN AMBOS SENTIDOS (Q) en (veh/h) :		291				
DISTRIBUCION POR SENTIDOS (Ascensos/Descenso):		46	/	54		
COMPOSICION DEL TRANSITO (%)	A: 69,7	B: 12,61	C: 17,69	B +C: 30,3		
ZONAS DE NO REBASE (%)	100					
2. CALCULO DE LA CAPACIDAD C60 Y C5						
Fpe X (TABLA 1)	Fd X (TABLA)	Fcb X (TABLA)	Fp X (TABLA)	Ci = (veh/h)	C60 (veh/h)	
0,8892	0,932	0,961	0,681768	3200	1738	
C60 x (veh/h)		FPH = (CALCULADO)		C5 (veh/h)		
1737		0,587		1019		
Q /	C60 =	Q/C60		Q /	C5 =	Q/C5
291	1737	0,1675		291	1019	0,285
3. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO						
Vi X (TABLA)	fu = (TABLA)	V1 (km/m)	fsr X (TABLA)	fcb X (TABLA)	V1 = (TABLA)	V2 (1) (km/h)
59,84	0,983	58,84	0,982324	0,854	58,84	49,3592061
fp1 X (TABLA)	fp2 = (TABLA)	Fp X	V2 = DE (1)	V3 (2) (km/h)	Vc (km/h) (TABLA)	
0,7752	0,9991	0,775	49,359	38,2288196	38,4625	
Si fp > 1.00 hacer fp = 1.00						
Si V3 ≤ Vc, V = V3 (DE (2))			V (DE (2) Ó (3))		NIVEL DE SERVICIO (TABLA)	
Si V3 > Vc CALCULAR V CON LA HOJA DE TRABAJO No. 2 (3)			38,2288196		E	
HOJA DE TRABAJO N.1						

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Figura 43. Hoja de Trabajo Método Colombiano.

CARRETERAS DE DOS CARRILES																				
DETERMINACION DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO																				
TRAMO	5	SECTOR	doble calzada	SECTOR	TIPICO															
NOMBRE	Via Pamplona - La Lejia				CRITICO	X														
CALCULÓ		REVISÓ	ING EDGAR PEREZ FLOREZ	FECHA	23/05/2017															
1. DATOS GEOMETRICOS Y DE TRANSITO																				
BERMA (m)	0	TIPO DE TERRENO (P,O,M,E)			MONTAÑOZO															
CALZADA(m)	6,92	PENDIENTE (%):			5,63															
BERMA (m)	0	LONGITUD(km):			3															
		RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA(m):			20,47															
		DEFLEXION DE LA CURVA (grados):			87															
ESTADO DE SUPERFICIE DE RODADURA	IRI (mm/m)	-----	ÁREA(%)	-----	N.F (2 a 5)	4														
VOLUMEN TOTAL EN AMBOS SENTIDOS (Q) en (veh/		217																		
DISTRIBUCION POR SENTIDOS (Ascensos/Descenso):		54		/		46														
COMPOSICION DEL TRANSITO (%)		A : 70,2	B : 2,74	C : 27,06	B +C : 29,8															
ZONAS DE NO REBASE (%)		100																		
2. CALCULO DE LA CAPACIDAD C60 Y C5																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Fpe X (TABLA 1)</td> <td>Fd X (TABLA)</td> <td>Fcb X (TABLA)</td> <td>Fp X (TABLA)</td> <td>Ci = (veh/h)</td> <td>C60 (veh/h)</td> </tr> <tr> <td>0,9074</td> <td>0,932</td> <td>0,958</td> <td>0,7017</td> <td>3200</td> <td>1819</td> </tr> </table>							Fpe X (TABLA 1)	Fd X (TABLA)	Fcb X (TABLA)	Fp X (TABLA)	Ci = (veh/h)	C60 (veh/h)	0,9074	0,932	0,958	0,7017	3200	1819		
Fpe X (TABLA 1)	Fd X (TABLA)	Fcb X (TABLA)	Fp X (TABLA)	Ci = (veh/h)	C60 (veh/h)															
0,9074	0,932	0,958	0,7017	3200	1819															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>C60 x (veh/h)</td> <td>FPH = (CALCULADO)</td> <td>C5 (veh/h)</td> </tr> <tr> <td>1819</td> <td>0,861</td> <td>1567</td> </tr> </table>							C60 x (veh/h)	FPH = (CALCULADO)	C5 (veh/h)	1819	0,861	1567								
C60 x (veh/h)	FPH = (CALCULADO)	C5 (veh/h)																		
1819	0,861	1567																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Q /</td> <td>C60 =</td> <td>Q/C60</td> <td>Q /</td> <td>C5 =</td> <td>Q/C5</td> </tr> <tr> <td>217</td> <td>1819,20504</td> <td>0,1193</td> <td>217</td> <td>1567</td> <td>0,139</td> </tr> </table>							Q /	C60 =	Q/C60	Q /	C5 =	Q/C5	217	1819,20504	0,1193	217	1567	0,139		
Q /	C60 =	Q/C60	Q /	C5 =	Q/C5															
217	1819,20504	0,1193	217	1567	0,139															
3. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Vi X (TABLA)</td> <td>fu = (TABLA)</td> <td>V1 (km/m)</td> <td>fsr X (TABLA)</td> <td>fcf X (TABLA)</td> <td>V1 = (TABLA)</td> <td>V2 (1) (km/h)</td> </tr> <tr> <td>63,68</td> <td>0,98807</td> <td>62,92</td> <td>0,977</td> <td>0,842</td> <td>62,92</td> <td>51,7603761</td> </tr> </table>							Vi X (TABLA)	fu = (TABLA)	V1 (km/m)	fsr X (TABLA)	fcf X (TABLA)	V1 = (TABLA)	V2 (1) (km/h)	63,68	0,98807	62,92	0,977	0,842	62,92	51,7603761
Vi X (TABLA)	fu = (TABLA)	V1 (km/m)	fsr X (TABLA)	fcf X (TABLA)	V1 = (TABLA)	V2 (1) (km/h)														
63,68	0,98807	62,92	0,977	0,842	62,92	51,7603761														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>fp1 X (TABLA)</td> <td>fp2 = (TABLA)</td> <td>Fp X</td> <td>V2 = DE (1)</td> <td>V3 (2) (km/h)</td> <td>Vc (km/h) (TABLA)</td> </tr> <tr> <td>0,7981</td> <td>1,0006</td> <td>0,799</td> <td>51,760</td> <td>41,3347421</td> <td>37,21</td> </tr> </table>							fp1 X (TABLA)	fp2 = (TABLA)	Fp X	V2 = DE (1)	V3 (2) (km/h)	Vc (km/h) (TABLA)	0,7981	1,0006	0,799	51,760	41,3347421	37,21		
fp1 X (TABLA)	fp2 = (TABLA)	Fp X	V2 = DE (1)	V3 (2) (km/h)	Vc (km/h) (TABLA)															
0,7981	1,0006	0,799	51,760	41,3347421	37,21															
Si fp > 1.00 hacer fp = 1.00																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Si V3 ≤ Vc, V = V3 (DE (2))</td> <td>V (DE (2) Ó (3))</td> <td>NIVEL DE SERVICIO (TABLA)</td> </tr> <tr> <td>Si V3 > Vc CALCULAR V CON LA HOJA DE TRABAJO No. 2 (3)</td> <td>38,808</td> <td>E</td> </tr> </table>							Si V3 ≤ Vc, V = V3 (DE (2))	V (DE (2) Ó (3))	NIVEL DE SERVICIO (TABLA)	Si V3 > Vc CALCULAR V CON LA HOJA DE TRABAJO No. 2 (3)	38,808	E								
Si V3 ≤ Vc, V = V3 (DE (2))	V (DE (2) Ó (3))	NIVEL DE SERVICIO (TABLA)																		
Si V3 > Vc CALCULAR V CON LA HOJA DE TRABAJO No. 2 (3)	38,808	E																		
HOJA DE TRABAJO N.1																				

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Figura 44. Hoja de Trabajo Método Colombiano.

CARRETERAS DE DOS CARRILES ESTIMACION DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO VELOCIDAD MEDIA CUANO LA CURVA LIMITA				
DESCRIPCION VARIABLE	PROCEDENCIA	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Longitud del sector	HOJA DE TRABAJO No.1	L	3	km/h
Deflexion de la curva	HOJA DE TRABAJO No.1	Df	87	grados
Velocidad tangente	HOJA DE TRABAJO No.1	V3	41,335	km/h
Radio de la curva	HOJA DE TRABAJO No.1	R	20,47	m
Longitud de la curva	$R * Df * \pi / 180$	Lc	31,0824668	m
Longitud acelerando y desacelerando	130 + Lc	Lda	161,082467	m
Recorrido con velocidad v	$1000 * L - Lda$	L3	2838,91753	m
Si L3 menor o igual a cero	se asume Vc como velocidad media (V=Vc)	V		km/h
Si L3 > 0 Proseguir los cálculos				
Tiempo de velocidad V3	$3.6 * L3 / V3$	T3 =	247,252132	S
Tiempo desacelerando y acelerando	$td1 = \frac{(-0.278 V3 + (0.077 * V3^2 - 49.40)^{1/2} * 2}{-0.19}$ $td2 = \frac{(-0.267 V3 + (0.071 * V3^2 - 0.60 Lc)^{1/2}}{-0.30}$ $tda = \frac{(-0.256 V3 + (0.065 * V3^2 - 0.20 Lc)^{1/2}}{0.10}$ $Tda = td1 + td2 + tda$	Tda =	31,036	s
Tiempo total de recorrido	T3 + Tda	T =	278,288451	S
Velocidad media	$3600 * L / T$	V =	38,808	km/h
HOJA DE TRABAJO N. 2				

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

4.3.2. Calculo de capacidad y niveles de servicio por el método HCM 2010 implementado por el departamento de transporte de la Florida (FDOT).

Figura 45. Niveles de Servicio HCM 2010 vías Clase I.

NDS	CARRETERAS CLASE I	
	VELOCIDAD PROM DE VIAJE (ATS) (KM/H)	PORCENTAJE DE DEMORA POR NO REBASE DE VEHICULO (PTFS)(%)
A	>88,5	≤35
B	>80,5-88,5	>35-50
C	>72,4-80,5	>50-65
D	>64,4-72,4	>65-80
E	≤64,4	>80

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

4.3.2.1. Vía Pamplona-La Don Juana

Figura 46. Datos de Entrada HCM 2010.

VÍA PAMPLONA- LA DON JUANA		
DATOS DE ENTRADA	UND	VALOR
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA PAMPLONA- LA DON JUANA	KM/H	41,16
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA LA DON JUANA- PAMPLONA	KM/H	42,28
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS PAMPLONA- LA DON JUANA	%	0,37
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS LA DON JUANA- PAMPLONA	%	0,35
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS AMBOS SENTIDOS	%	0,32
PORCENTAJE DE VEHICULOS RECREACIONALES AMBOS SENTIDOS	%	0
VOLUMEN DE DEMANDA PARA PAMPLONA- LA DON JUANA	VEH/H	252
VOLUMEN DE DEMANDA PARA LA DON JUANA- PAMPLONA	VEH/H	292
VOLUMEN HORA PICO	VEH/H	417
PENDIENTE	%	5,7
LONGITUD DEL TRAMO	KM	0,4
ZONAS DE NO REBASE	%	100

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Primero se determina el sentido de análisis para el estudio dándole a este sentido el subíndice d luego se repite el procedimiento para el sentido opuesto.

✓ **Sentido Pamplona- La Don Juana**

▪ **Niveles de Servicio**

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

• **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 47. Datos Obtenidos por Figura

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	1,448
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	1,408
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	3,1309

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h, este dato está en la Figura 49.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Figura 47 y se multiplica por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 63 * 4$$

$$v_{d,vph} = 252$$

$$v_{o,vph} = 73 * 4$$

$$v_{d,vph} = 292$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 22 según lo determinan las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 1$$

$$f_{g,oVPV} = 1$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 49 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 21.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,35(1,448 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,86$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV o,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,37(1,408 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV_o,VPV} = 0,88$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{252}{1 * 1 * 0,86}$$

$$V_{d,VPV} = 293,88$$

$$V_{o,VPV} = \frac{292}{1 * 1 * 0,88}$$

$$V_{o,VPV} = 333,70$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 28.

$$f_{np,VPV} = 3,1309$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 41,16 - 0,00776(293,88 + 333,70) - 3,1309$$

$$VPV_d = 33,16$$

Figura 48. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	252
Vvph O	VEH/H	292
FHV D	UND	0,86
Vd	VEH/H	293,88
FHV O	UND	0,88
Vo	VEH/H	333,70
VPVd	KM/H	33,16

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Nivel de Servicio E

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en Seguimiento**

Figura 49. Datos Obtenidos Por Figura.

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	57,3738965
a	CONS	-0,00205428
b	CONS	0,9321075

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo se extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 252$$

$$v_{d,vph} = 292$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 29.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 49 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 31.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,35(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 0,96$$

$$f_{HV0,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,37(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,PTSF} = 0,97$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{252}{1 * 1 * 0,96}$$

$$V_{d,PTSF} = 261,35$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{292}{1 * 1 * 0,97}$$

$$V_{o,PTSF} = 302,22$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 34.

$$f_{np,PTFS} = 57,373896$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtienen de la Figura 30.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_{d,PTSF}^b)})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,0020543(261,35^{0,9321075})})$$

$$PTFB_d = 30,78$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 30,78 + 57,3738 \left(\frac{261,35}{261,35 + 302,22} \right)$$

$$PTSF_d = 57,39$$

Figura 50. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	252
Vvph O	VEH/H	292
FHV D	UND	0,96
Vd	VEH/H	261,35
FHV O	UND	0,97
Vo	VEH/H	302,22
BPTSFD	UND	30,78
PTFSD	%	57,39

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Nivel de Servicio C.

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido Pamplona- La Don Juana el “**Nivel de Servicio es tomado como E**”.

▪ Capacidad

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{293,88}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,173$$

$$C_{PTSF} = \frac{261,35}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,154$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente.

✓ **Sentido La Don Juana-Pamplona**

▪ **Niveles de Servicio**

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

- **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 51. Datos Obtenidos por Figura Para VPV

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	4,508
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	0,7168
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	4,548
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	0,7008
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	1,1835405

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h este dato está en la Figura 49.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Figura 47 y se multiplico por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 73 * 4$$

$$v_{d,vph} = 292$$

$$v_{o,vph} = 63 * 4$$

$$v_{o,vph} = 252$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 23 según lo determino las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 0,7168$$

$$f_{g,oVPV} = 0,7008$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 56 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 26.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,35(4,508 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,4489$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV o,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,37(4,548 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV o,VPV} = 0,43$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{292}{1 * 0,7168 * 0,4489}$$

$$V_{d,VPV} = 907,53$$

$$V_{o,VPV} = \frac{252}{1 * 0,7008 * 0,43}$$

$$V_{o,VPV} = 832,92$$

Teniendo los volúmenes ajustados se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 28.

$$f_{np,VPV} = 1,1835$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 42,28 - 0,00776(907,53 + 832,92) - 1,1835$$

$$VPV_d = 27,59$$

Figura 52. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	292
Vvph O	VEH/H	252
FHV D	UND	0,4489
Vd	VEH/H	907,53
FHV O	UND	0,43
Vo	VEH/H	832,92
VPVd	KM/H	27,59

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Nivel de Servicio E.

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en Seguimiento**

Figura 53. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	57,3738965
a	CONS	-0,002454
b	CONS	0,9576625

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo se extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 292$$

$$v_{d,vph} = 252$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 30.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 56 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 32.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,35(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 1$$

$$f_{HV0,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,37(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,PTSF} = 1$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{292}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{d,PTSF} = 292$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{252}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{o,PTSF} = 252$$

Teniendo los volúmenes ajustados se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 34.

$$f_{np,PTFS} = 57,373896$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtendrán de la Figura 33.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_{d,PTSF}^b)})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,002454(292^{0,9576})})$$

$$PTFB_d = 43,08$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 43,08 + 57,3738 \left(\frac{292}{292 + 252} \right)$$

$$PTSF_d = 73,87$$

Figura 54. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	292
Vvph O	VEH/H	252
FHV D	UND	1,00
Vd	VEH/H	292,00
FHV O	UND	1,00
Vo	VEH/H	252,00
BPTSFD	UND	43,08
PTFSD	%	73,87

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

Nivel de Servicio D

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido La Don Juana- Pamplona el “**Nivel de Servicio es tomado como E**”.

- **Capacidad**

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de

Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{907,53}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,534$$

$$C_{PTSF} = \frac{292}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,1717$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente siendo esta una Capacidad para analizar más adelante.

4.3.2.2. Vía Pamplona- Berlín

Figura 55. Datos de Entrada HCM 2010

VÍA PAMPLONA-BERLÍN		
DATOS DE ENTRADA	UND	VALOR
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA PAMPLONA- BERLÍN	KM/H	38,42
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA BERLÍN -PAMPLONA	KM/H	40,11
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS PAMPLONA- BERLÍN	%	0,425
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS BERLÍN- PAMPLONA	%	0,451
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS AMBOS SENTIDOS	%	0,303
PORCENTAJE DE VEHICULOS RECREACIONALES AMBOS SENTIDOS	%	0
VOLUMEN DE DEMANDA PARA PAMPLONA- BERLÍN	VEH/H	192
VOLUMEN DE DEMANDA PARA BERLÍN- PAMPLONA	VEH/H	304
VOLUMEN HORA PICO	VEH/H	291
PENDIENTE	%	6,5
LONGITUD DEL TRAMO	KM	0,4
ZONAS DE NO REBASE	%	100

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

✓ Sentido Pamplona- Berlín

▪ Niveles de Servicio

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

- **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 56. Datos Obtenidos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	5,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	0,632
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	5
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	0,682
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	0,92539

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h este dato está en la Figura 58.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Tabla 21 Anexo 1,2, Libro “RESUMEN DE DATOS” y se multiplico por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 48 * 4$$

$$v_{d,vph} = 192$$

$$v_{o,vph} = 76 * 4$$

$$v_{o,vph} = 304$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 23 según lo determino las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 0,632$$

$$f_{g,oVPV} = 0,682$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 59 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 26.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,425(5,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,36$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV0,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,451(5 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,VPV} = 0,36$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{192}{1 * 0,632 * 0,36}$$

$$V_{d,VPV} = 832,73$$

$$V_{o,VPV} = \frac{304}{1 * 0,682 * 0,36}$$

$$V_{o,VPV} = 1249,74$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 28..

$$f_{np,VPV} = 0,92539$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 38,42 - 0,00776(832,73 + 1249,74) - 0,92539$$

$$VPV_d = 21,33$$

Figura 57. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	192
Vvph O	VEH/H	304
FHV D	UND	0,36
Vd	VEH/H	832,73
FHV O	UND	0,36
Vo	VEH/H	1249,74
VPVd	KM/H	21,33

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio E.

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en seguimiento**

Figura 58. Datos para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	58,7552
a	CONS	-0,001816
b	CONS	0,947

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo de extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 192$$

$$v_{d,vph} = 304$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 30.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 65 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 32.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,425(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 1$$

$$f_{HV0,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,451(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,PTSF} = 1$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{192}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{d,PTSF} = 192$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{304}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{o,PTSF} = 304$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase Fnp de la Figura 34.

$$f_{np,PTFS} = 58,7552$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtendrán de la Figura 33.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_{d,PTSF}^b)})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,001816(192^{0,947})})$$

$$PTFB_d = 23,19$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 23,19 + 58,7552 \left(\frac{192}{192 + 304} \right)$$

$$PTSF_d = 45,94$$

Figura 59. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	192
Vvph O	VEH/H	304
FHV D	UND	1,00
Vd	VEH/H	192,00
FHV O	UND	1,00
Vo	VEH/H	304,00
BPTSFD	UND	23,19
PTFSD	%	45,94

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio B.

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido Pamplona-Berlín el **“Nivel de Servicio es tomado como E”**.

▪ Capacidad

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{832,73}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,4898$$

$$C_{PTSF} = \frac{192}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,1129$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente siendo esta una Capacidad para analizar más adelante.

✓ **Sentido Berlín- Pamplona**

▪ **Niveles de Servicio**

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

• **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 60. Datos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	1,398
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	1,532
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	3,77003

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h, este dato está en la Figura 63.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Tabla 21 Anexo 1,2, Libro “RESUMEN DE DATOS” y se multiplica por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 76 * 4$$

$$v_{d,vph} = 304$$

$$v_{o,vph} = 48 * 4$$

$$v_{d,vph} = 192$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 22. según lo determino las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 1$$

$$f_{g,oVPV} = 1$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 63 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 24.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,451(1,398 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,8478$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV0,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,425(1,532 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,VPV} = 0,82$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{304}{1 * 1 * 0,8478}$$

$$V_{d,VPV} = 258,56$$

$$V_{o,VPV} = \frac{192}{1 * 1 * 0,82}$$

$$V_{o,VPV} = 235,38$$

Teniendo el volumen ajustado se puede hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 28.

$$f_{np,VPV} = 3,77003$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 40,11 - 0,00776(258,56 + 235,38) - 3,77003$$

$$VPV_d = 31,73$$

Figura 61. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	304
Vvph O	VEH/H	192
FHV D	UND	0,8478
Vd	VEH/H	358,56
FHV O	UND	0,82
Vo	VEH/H	235,38
VPVd	KM/H	31,73

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio E.

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en Seguimiento**

Figura 62. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	58,7552
a	CONS	-0,001768
b	CONS	0,95

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo se extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 304$$

$$v_{d,vph} = 192$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 29.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 64 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 31.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,451(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 0,96$$

$$f_{HV0,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,425(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,PTSF} = 0,96$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{304}{1 * 1 * 0,96}$$

$$V_{d,PTSF} = 317,71$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{192}{1 * 1 * 0,96}$$

$$V_{o,PTSF} = 200,66$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 34.

$$f_{np,PTFS} = 58,7552$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtendrán de la Figura 33.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_d^{b,PTSF})})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,001768(317,71^{0,95})})$$

$$PTFB_d = 34,37$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 34,37 + 58,7552 \left(\frac{317,71}{317,71 + 200,66} \right)$$

$$PTSF_d = 70,38$$

Figura 63. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	304
Vvph O	VEH/H	192
FHV D	UND	0,96
Vd	VEH/H	317,71
FHV O	UND	0,96
Vo	VEH/H	200,66
BPTSFD	UND	34,37
PTFSD	%	70,38

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio D.

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido Pamplona-Berlín el **“Nivel de Servicio es tomado como E”**.

- **Capacidad**

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{358,56}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,2109$$

$$C_{PTSF} = \frac{317,71}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,1868$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente siendo esta una Capacidad para analizar más adelante.

4.3.2.3. Vía Pamplona- La Lejía

Figura 64. Datos de Entrada HCM 2010

VÍA PAMPLONA-LA LEJIA		
DATOS DE ENTRADA	UND	VALOR
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA PAMPLONA- LA LEJÍA	KM/H	37,52
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE LA MUESTRA LA LEJÍA-PAMPLONA	KM/H	36,65
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS PAMPLONA- LA LEJÍA	%	0,284
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS LA LEJÍA- PAMPLONA	%	0,324
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS AMBOS SENTIDOS	%	0,298
PORCENTAJE DE VEHICULOS RECREACIONALES AMBOS SENTIDOS	%	0
VOLUMEN DE DEMANDA PARA PAMPLONA- LA LEJÍA	VEH/H	220
VOLUMEN DE DEMANDA PARA LA LEJÍA- PAMPLONA	VEH/H	136
VOLUMEN HORA PICO	VEH/H	217
PENDIENTE	%	5,63
LONGITUD DEL TRAMO	KM	0,4
ZONAS DE NO REBASE	%	100

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

✓ **Sentido Pamplona- La Lejía**

▪ **Niveles de Servicio**

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

• **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 65. Datos Obtenidos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	4,58
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	0,688
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	4,728
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	0,6096
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	1,66536

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h este dato está en la Figura 67.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Tabla 21 Anexo 1,2, Libro “RESUMEN DE DATOS” y se multiplico por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 55 * 4$$

$$v_{d,vph} = 220$$

$$v_{o,vph} = 34 * 4$$

$$v_{o,vph} = 136$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 23 según lo determino las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 0,688$$

$$f_{g,oVPV} = 0,6069$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 67 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 26.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,284(4,58 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,50$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV0,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,324(4,728 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,VPV} = 0,45$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{220}{1 * 0,688 * 0,50}$$

$$V_{d,VPV} = 644,88$$

$$V_{o,VPV} = \frac{136}{1 * 0,6069 * 0,45}$$

$$V_{o,VPV} = 492,57$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase F_{np} de la Figura 28.

$$f_{np,VPV} = 1,66536$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 37,52 - 0,00776(644,88 + 492,57) - 1,66536$$

$$VPV_d = 27,03$$

Figura 66. Datos Calculados Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	220
Vvph O	VEH/H	136
FHV D	UND	0,50
Vd	VEH/H	644,88
FHV O	UND	0,45
Vo	VEH/H	492,57
VPVd	KM/H	27,03

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio E.

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en Seguimiento**

Figura 67. Datos para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	60,0112
a	CONS	-0,0014
b	CONS	0,973

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo se extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 220$$

$$v_{d,vph} = 136$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 30.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 69 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 32.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,284(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 1$$

$$f_{HVo,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,324(1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVo,PTSF} = 1$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{220}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{d,PTSF} = 220$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{136}{1 * 1 * 1}$$

$$V_{o,PTSF} = 136$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase f_{np} de la Figura 34.

$$f_{np,PTSF} = 60,0111$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtendrán de la Figura 33.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_{d,PTSF}^b)})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,0014(220^{0,973})})$$

$$PTFB_d = 23,38$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 23,38 + 60,011\left(\frac{220}{220 + 136}\right)$$

$$PTSF_d = 60,46$$

Figura 68. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	220
Vvph O	VEH/H	136
FHV D	UND	1,00
Vd	VEH/H	220,00
FHV O	UND	1,00
Vo	VEH/H	136,00
BPTSFD	UND	23,38
PTFSD	%	60,46

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio C.

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido Pamplona-Berlín el “**Nivel de Servicio es tomado como E**”.

- **Capacidad**

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{644,88}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,3793$$

$$C_{PTSF} = \frac{220}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,1294$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente siendo esta una Capacidad para analizar más adelante.

✓ **Sentido La Lejía- Pamplona**

▪ **Niveles de Servicio**

Habiendo definido el sentido de análisis, todos los datos para los cálculos se obtendrán de las Figuras que el sentido determine.

• **Calculo de la Velocidad de Promedio de Viaje**

Figura 69. Datos por Figura para Velocidad Promedio de Viaje.

DATOS POR TABLA VPV	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,VPV	UND	1,756
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,VPV	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,VPV	UND	1,48
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,VPV	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,VPV	UND	3,50896

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

La Velocidad a Flujo Libre es obtenida en campo ya que el aforo de vehículos mixtos al momento de realizar el aforo de velocidades no fue mayor a 200 Veh/h, este dato está en la Figura 69.

Para el flujo se debe hacer un ajuste por hora pico; para este caso y ya que se tenían aforos cada 15 minutos se tomó el peor rango de 15 minutos en la hora pico Tabla 21 Anexo 1,2, Libro “RESUMEN DE DATOS” y se multiplico por 4 volviendo el FHP 1 esto aplica para todos los análisis de este estudio.

$$v_{d,vph} = 34 * 4$$

$$v_{d,vph} = 136$$

$$v_{o,vph} = 55 * 4$$

$$v_{d,vph} = 220$$

El factor de corrección por pendiente para este sentido se obtiene de la Figura 19 según lo determino las condiciones del sentido estudiado.

$$f_{g,dVPV} = 1$$

$$f_{g,oVPV} = 1$$

Luego se procede a calcular el ajuste por vehículos pesados usando la ecuación 22.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 74 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 24.

$$f_{HVd,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,324(1,756 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,VPV} = 0,8032$$

Este proceso se repite utilizando las mismas Figuras y la misma ecuación para analizar el efecto del sentido opuesto.

$$f_{HV0,VPV} = \frac{1}{(1 + 0,284(1,48 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,VPV} = 0,88$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iVPV} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,VPV} = \frac{304}{1 * 1 * 0,8032}$$

$$V_{d,VPV} = 169,31$$

$$V_{o,VPV} = \frac{192}{1 * 1 * 0,88}$$

$$V_{o,VPV} = 249,99$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase Fnp de la Figura 28.

$$f_{np,VPV} = 3,50896$$

Ahora se procede a evaluar la velocidad promedio de viaje VPV con la ecuación 23:

$$VPV_d = VFL - 0,00776(V_{dVPV} + V_{oVPV}) - F_{np}$$

$$VPV_d = 36,65 - 0,00776(169,31 + 249,99) - 3,50896$$

$$VPV_d = 29,89$$

Figura 70. Datos Calculados para Velocidad Promedio de Viaje.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	136
Vvph O	VEH/H	220
FHV D	UND	0,8032
Vd	VEH/H	169,31
FHV O	UND	0,88
Vo	VEH/H	249,99
VPVd	KM/H	29,89

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio E.

- **Calculo Porcentaje de Tiempo en Seguimiento**

Figura 71. Datos por Figura para Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

DATOS POR TABLA PTSF	UND	VALOR
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETD,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgD,PTSF	UND	1
EQUIVALENTE DE VEHICULOS PESADOS EN PASAJEROS ETO,PTSF	UND	1,1
FACTOR DE GRADO DE AJUSTE PENDIENTE FgO,PTSF	UND	1
FACTOR DE AJUSTE ZONAS DE NO REBASE FnpD,PTSF	UND	60,4124
a	CONS	-0,00150852
b	CONS	0,9662175

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Para el cálculo del porcentaje de tiempo en seguimiento se realiza un procedimiento similar ya que la fórmula de ajuste por presencia de vehículos pesados y el ajuste de volumen de demanda en el sentido i son las mismas, pero los factores para su cálculo se extraen de Figuras diferentes.

Para el ajuste de flujo por Factor Hora Pico se realiza igual a la Velocidad Promedio de Viaje teniendo:

$$v_{d,vph} = 136$$

$$v_{d,vph} = 220$$

Los factores de corrección por pendiente para el sentido de estudio y el PTSF se toman de la Figura 29.

$$f_{g,dPTSF} = 1$$

$$f_{g,oPTSF} = 1$$

Para el cálculo del ajuste por vehículos pesados se usa la ecuación 21.

El porcentaje de vehículos pesados se obtiene de la Figura 69 para el sentido de estudio mientras el Equivalente de camiones (Et) se obtiene de la Figura 31.

$$f_{HVd,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,324(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HVd,PTSF} = 0,97$$

$$f_{HV0,PTSF} = \frac{1}{(1 + 0,284(1,1 - 1) + 0(0 - 1))}$$

$$f_{HV0,PTSF} = 0,97$$

Con el factor de ajuste por camión encontrado se procede a determinar el volumen de flujo horario para cada sentido por medio de la ecuación 20.

$$V_{iPTSF} = \frac{V_{d-o}}{FPH * f_{g,VPV} * f_{HV,VPV}}$$

$$V_{d,PTSF} = \frac{136}{1 * 1 * 0,97}$$

$$V_{d,PTSF} = 140,41$$

$$V_{o,PTSF} = \frac{220}{1 * 1 * 0,97}$$

$$V_{o,PTSF} = 227,13$$

Teniendo el volumen ajustado se procede a hallar el factor de ajuste por zonas de no rebase $f_{np,PTFS}$ de la Figura 34.

$$f_{np,PTFS} = 60,4124$$

Por último y antes de calcular el PTSF se calcula el Porcentaje de Tiempo en Fila base PTFB para la dirección de análisis con la ecuación 27, los factores a y b son constantes que se obtendrán de la Figura 33.

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-a(V_d^{b,PTSF})})$$

$$PTFB_d = 100(1 - e^{-0,0015085(140,41^{0,9662175})})$$

$$PTFB_d = 16,41$$

Luego de calcular PTFB se procede a determinar el porcentaje de tiempo en seguimiento utilizando la ecuación 26.

$$PTSF_d = PTFB_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF} + V_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 16,41 + 60,4124 \left(\frac{227,13}{227,13 + 140,41} \right)$$

$$PTSF_d = 39,49$$

Figura 72. Datos Calculados Porcentaje de Tiempo en Seguimiento.

CALCULADOS	UND	VALOR
FACTOR HORA PICO	%	1
Vvph D	VEH/H	136
Vvph O	VEH/H	220
FHV D	UND	0,97
Vd	VEH/H	140,41
FHV O	UND	0,97
Vo	VEH/H	227,13
BPTSFD	UND	16,41
PTFSD	%	39,49

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Nivel de Servicio B.

Al tener resultados diferentes en los análisis para niveles de servicio como es el caso el método nos exhorta a tomar el Nivel como el más bajo por lo tanto para el Sentido Pamplona-Berlín el **“Nivel de Servicio es tomado como E”**.

▪ Capacidad

El método considera que analizar los dos volúmenes ajustados por sentido, el encontrado en la Velocidad Promedio de Viaje y el hallado en el Porcentaje de Tiempo en Seguimiento, es la mejor manera de determinar la relación de capacidad que presenta la vía.

Para esto el método toma una Capacidad base de 1700 Veh/h y con el volumen ajustado para cada variable determina la capacidad bajo las condiciones prevalentes como resultado se determina la relación más cercana a 1.

$$C_{VPV} = \frac{169,31}{1700}$$

$$C_{VPV} = 0,099$$

$$C_{PTSF} = \frac{140,41}{1700}$$

$$C_{PTSF} = 0,08259$$

Se obtiene que la relación de capacidad para la velocidad promedio de viaje es más alta y es por esto que esta se considera como la Capacidad prevaleciente siendo esta una Capacidad para analizar más adelante.

4.3.3. Proyecciones del tpd para determinación de la capacidad y nivel de servicio de las rutas de estudio a cinco años.

Se torna fundamental para la ingeniería de tránsito poseer la posibilidad de analizar el tránsito para proyecciones futuras, la certeza de las regresiones y métodos de proyección de datos es de cierta manera incierta pues los flujos de vehículos, capacidades, volúmenes y demás condicionantes de estudio pueden variar de muchas formas según su intención de viaje, fechas, factores climáticos y demás eventualidades que puedan presentarse. Sin embargo, no está de más la intervención de la estadística.

Para el estudio presente tomaremos en cuenta la compatibilidad de los métodos para carreteras colombianas de dos carriles ya que el método estadounidense, aunque tiene varios factores importantes que no analiza el método colombiano, no tiene en cuenta las características y velocidades que se presentan en las vías representativas de Colombia, los alineamientos y condiciones son muy diferentes si proponemos un paralelo entre los dos países en cuanto infraestructura vial.

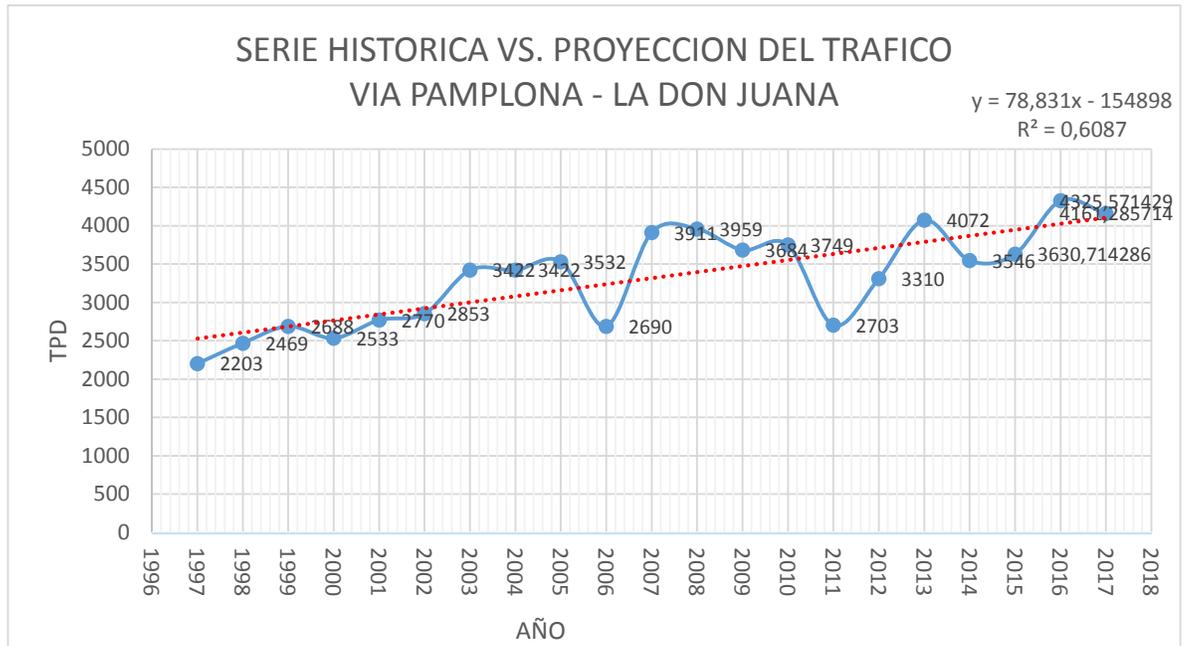
Para este capítulo tomaremos como material fundamental de trabajo los datos históricos suministrados por el Instituto Nacional De Vías. Es importante este capítulo ya que en ares del progreso el departamento de norte de Santander se someterá a la construcción de una ruta doble calzada que recorre desde la ciudad de Cúcuta hasta Bucaramanga, el plazo para este proyecto oscila entre los cinco y diez años. Por esta razón queremos realizar las proyecciones del tránsito y por consiguiente el nivel de servicio a cinco años con el fin de determinar qué tan necesaria o innecesaria puede tornarse esta doble calzada, aunque nunca está de más para un gobierno la inversión en infraestructura vial.

Aunque para la determinación de niveles de servicio se necesitan muchas características del tránsito que deben ser tomadas en campo en la fecha de estudio. Para estos datos tomamos algunos promedios y otros basados en la información detallada de los aforos vehiculares realizados en los últimos tres años por nosotros y el grupo de investigación SEVIAL de la Universidad De Pamplona.

4.3.3.1. Proyección del TPD a Cinco Años. Presentamos a continuación la Figura 22 del anexo 3,1, en el libro “PROYECCIONES A 2, 5 Y 10 AÑOS” que recopila los datos históricos de TPD y porcentajes de vehículos pesados desde 1997 hasta la actualidad.

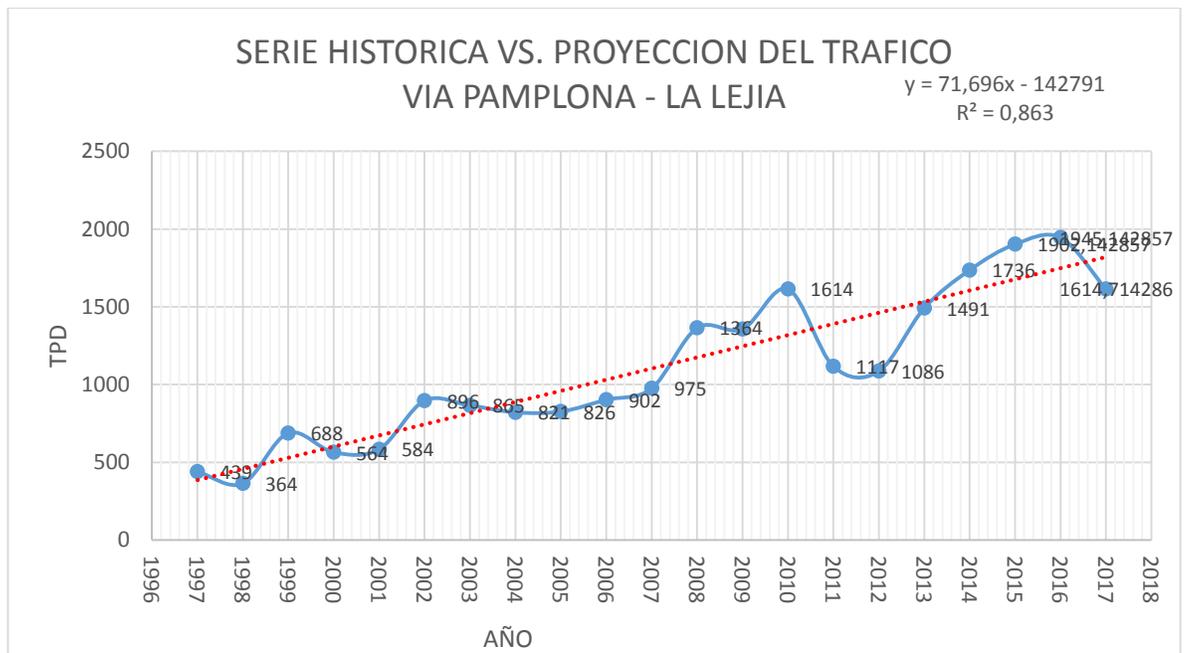
Para el trabajo estadísticos se usan las herramientas de Excel para determinar los tipos de líneas de tendencias que más se ajusten a los datos calculando las ecuaciones que mejor modelen las referencias históricas. Se presentan las gráficas del aumento del TPD y sus respectivas ecuaciones de modelación a lo largo de los años.

Figura 73. Análisis Datos Históricos TPD.



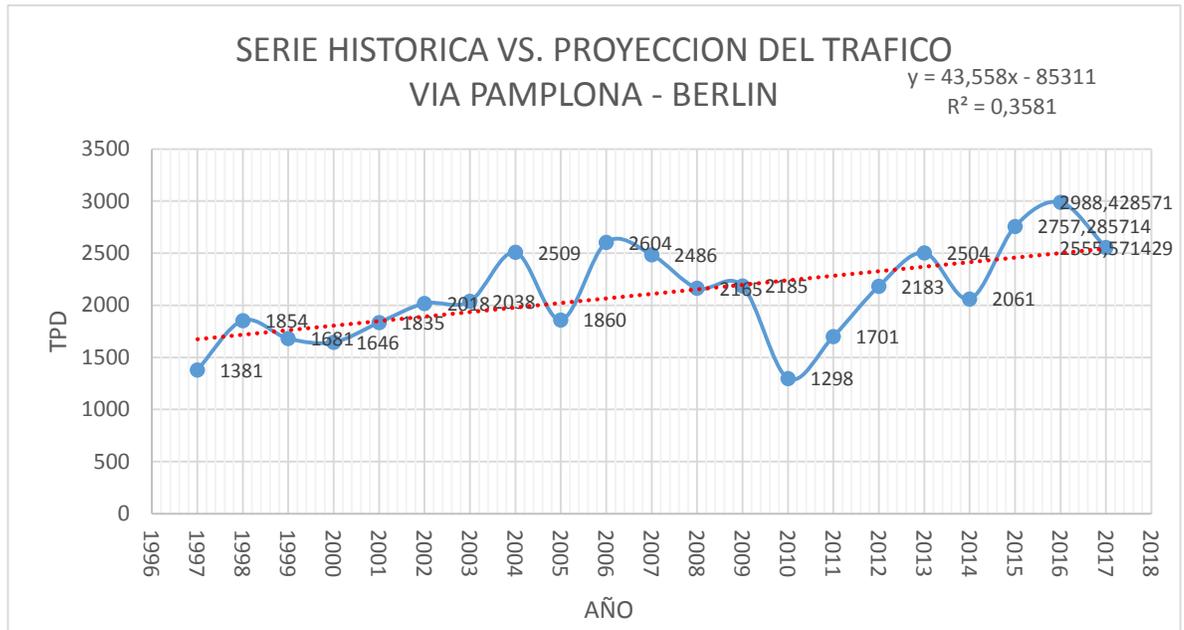
Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Figura 74. Análisis Datos Históricos TPD.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

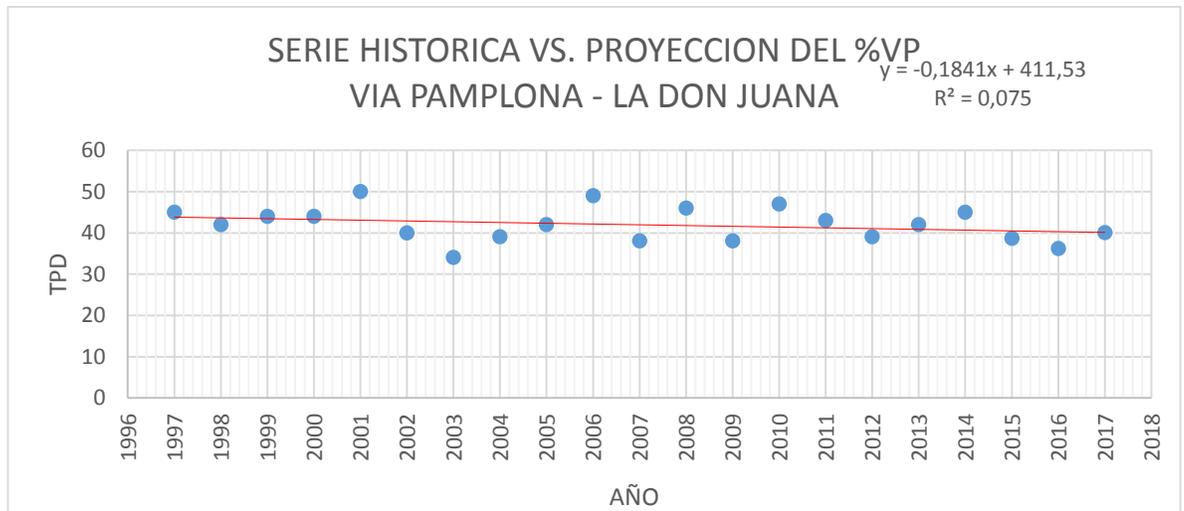
Figura 75. Análisis Datos Históricos TPD.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

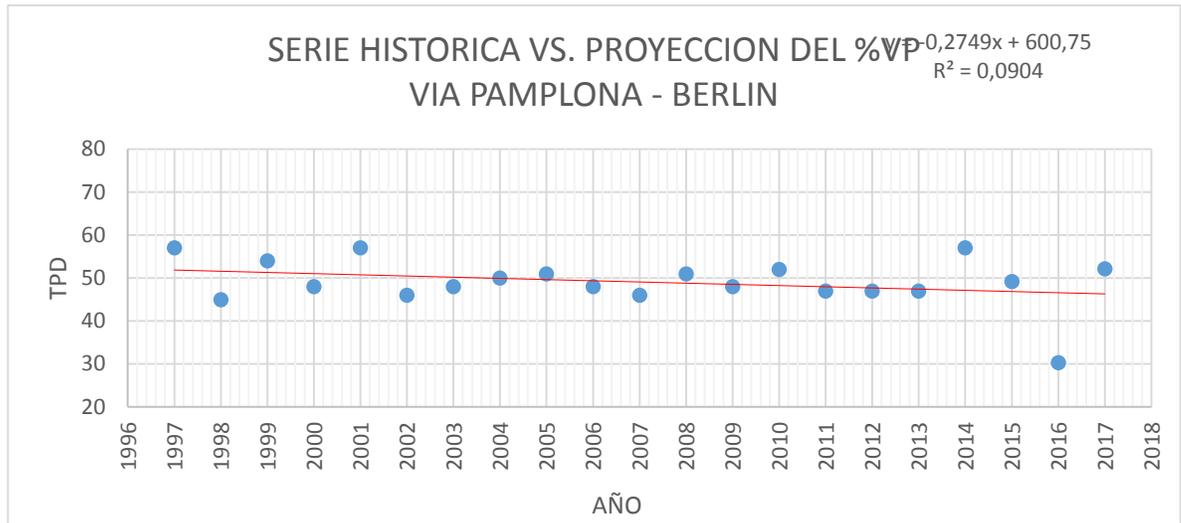
Igualmente es importante un análisis de la condición histórica de los porcentajes de camiones a lo largo de los años, por esta razón se realizan graficas de dispersión.

Figura 76. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.



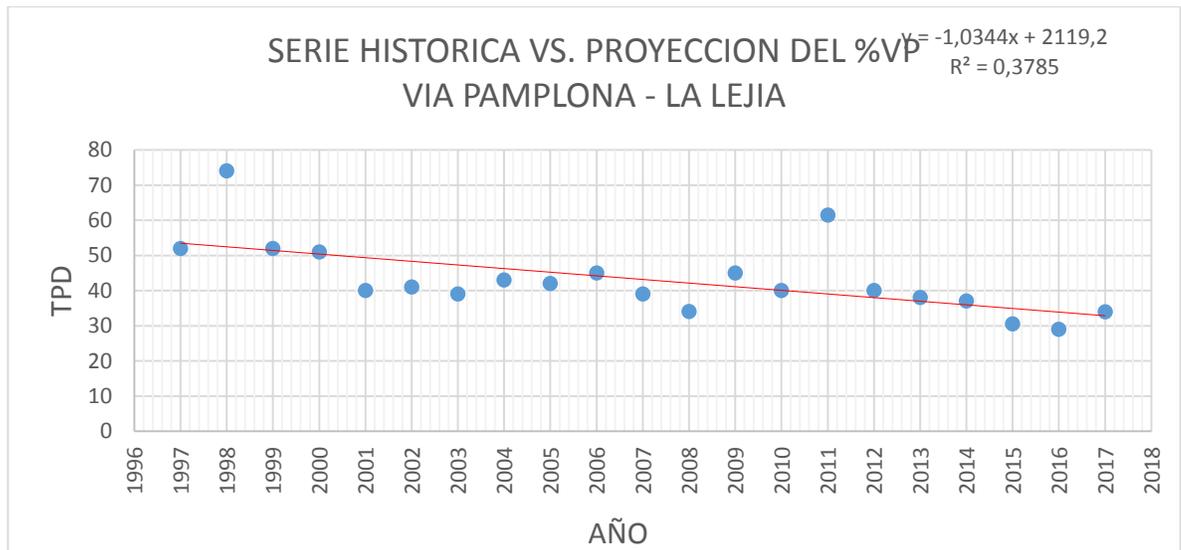
Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Figura 77. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Figura 78. Análisis Datos Históricos Porcentajes de Camiones.



Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

Debido a la alta dispersión de los porcentajes de camiones no es viable la proyección de este dato, por esto, se optó por determinar un porcentaje promedio que en algunos casos puede no ser representativo, pero llega a representar una

condición crítica de la presencia de vehículos pesados en la vía en un tiempo determinado.

En la Tabla 27 del anexo 1,2 en el libro “PROYECCIONES A 2, 5, Y 10 AÑOS” podemos las ecuaciones usadas para la proyección del tráfico

De estas ecuaciones se determinan las proyecciones en cuestión para dos, cinco y diez años:

Para ver las proyecciones a 2, 5 y 10 años remitirse a la Tabla 26 del anexo1,2, en el libro “PROYECCIONES A 2, 5, Y 10 AÑOS”

En este estudio se usa la proyección para cinco años (2022), pues es la fecha más cercana a la iniciación de la construcción de la doble calzada.

Con los volúmenes allí establecidos se procede a la determinación de los niveles de servicio por el método colombiano.

4.3.4. Determinación de capacidad y niveles de servicio para las tres vías nacionales basadas en volúmenes de proyecciones a cinco años

Para determinar la hora pico, debido a los escasos de datos promediamos las del último año, es decir el promedio de porcentaje de las horas picos con respecto a cada día de la semana del 2016. Para cada vía se adicionan unas dos Figuras para determinar los factores faltantes.

4.3.4.1 Para la Vía pamplona – La Don Juana

TPD proyectado (5 años)	Q hora pico (5 años)
4498	349

PORCENTAJES DE HORA PICO PARA PAMPLONA . LA DON JUANA						
6,90	7,69	7,36	7,70	7,33	8,02	9,37

Una vez determinados estos datos, recopilamos nuevamente la información de entrada, donde algunos serán iguales y otros si tendrán ligeros cambios, cuando están en función del volumen. Uno de ellos es el factor hora pico que para esta situación debe ser determinado mediante la Figura 8 y no puede ser calculado.

Figura 79. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES)

DATOS DE ENTRADA	UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)	metros	3,62
ANCHO DE BERMA	metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA	metros	27,73
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)		3
ADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcion	%	3
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS	%	41,99
PENDIENTE ASCENDENTE	%	5.7
DISTRIBUCION DIRECCIONAL		53/47
LONGITUD DEL TRAMO	kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)	grados	101,64
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE (tabla)	%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	349	

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

✓ CALCULO DE LA CAPACIDAD

Como se citó anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C60 = Fpe * Fd * Fcb * Fp * Ci$$

Obteniendo los factores de las Figuras 2, 3, 4, 5 respectivamente se pueden sintetizar los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
Fpe	0,906
Fd	0,949
Fcb	0,968
Fp	0,663021

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,906 * 0,949 * 0,968 * 0,6630 * 3200 = 1766 \text{ cp/h}$$

Para el factor hora pico se toma de la Figura 6 obteniendo:

$$FHP = 0,9160$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1766 * 0,9160 = 1619 \text{ cp/h}$$

Se calculan las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,1978
Q/C5	0,2158

✓ **CALCULO DE NIVEL DE SERVICIO**

Se determinan V_i y F_u de las Figuras 7 y 8 respectivamente.

V_i	63,20
F_u	0,9802

Calculando V_1

$$V_1 = V_i * F_u$$

$$V_1 = 63,20 * 0,9802 = 61,949 \text{ km/h}$$

Se obtienen F_{sr} y F_{cb} de la Figura 9 y 10 respectivamente.

F_{sr}	0,9102
F_{cb}	0,874

Calculando V_2 :

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb}$$

$$V_2 = 61,949 * 0,9102 * 0,874 = 49,2821$$

Se obtienen los datos de F_{p1} y F_{p2} de las Figuras 11 y 12 respectivamente.

F_{p1}	0,8158
F_{p2}	0,958

Se obtiene F_p con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,8158 * 0,958 = 0,7815$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 49,2821 * 0,7815 = 38,5157 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se calcula Vc de la Figura 13.

Vc	40,4785
----	---------

Como $V3 < Vc$ se toma a V3 como la velocidad media (V) y se entra a la Figura 14 para determinar niveles de servicio.

$$V = 38,5157 \text{ km/h}$$

La vía posee un nivel de servicio E

4.3.4.2. Para la Vía pamplona – Berlín

porcentajes de hora pico pamplona - berlin						
7,48	8,04	7,47	7,54	7,93	7,39	7,18

TPD proyectado (5 años)	Q hora pico (5 años)
2763	209

Figura 80. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES)

DATOS DE ENTRADA	UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)	metros	3,52
ANCHO DE BERMA	metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA	metros	23,25
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)		3
ADADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcion	%	4
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS	%	49,08
PENDIENTE ASCENDENTE	%	6,36
DISTRIBUCION DIRECCIONAL		46/54
LONGITUD DEL TRAMO	kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)	grados	79
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE	%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	209	

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

✓ CALCULO DE LA CAPACIDAD

Como se citó anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C60 = Fpe * Fd * Fcb * Fp * Ci$$

Obteniendo los factores de las Figuras 2, 3, 4, 5 respectivamente se puede sintetizar los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
Fpe	0,8892
Fd	0,932
Fcb	0,961
Fp	0,61476

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,8892 * 0,932 * 0,961 * 0,61476 * 3200 = 1567 \text{ cp/h}$$

Para el factor hora pico se determina de la Figura 6 obteniendo:

$$FHP = 0,8983$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1567 * 0,8983 = 1407 \text{ cp/h}$$

Se calculan las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,1334
Q/C5	0,1485

✓ CALCULO DE NIVEL DE SERVICIO

Se determina Vi y Fu de las Figuras 7 y 8 respectivamente.

Vi	59,84
Fu	0,98666

Calculando V1

$$V1 = Vi * Fu$$

$$V1 = 59,84 * 0,98666 = 59,041 \text{ km/h}$$

Se obtienen Fsr y Fcb de la Figura 9 y 10 respectivamente.

Fsr	0,98191
Fcb	0,854

Calculando V2:

$$V2 = V1 * Fsr * Fcb$$

$$V2 = 59,041 * 0,98191 * 0,854 = 49,5095 \text{ km/h}$$

Se obtienen los datos de Fp1 y Fp2 de las Figuras 11 y 12 respectivamente.

Fp1	0,7735
Fp2	0,94971

Se obtiene Fp con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,7735 * 0,94971 = 0,7346$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 49,5059 * 0,7736 = 36,3697 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se calcula V_c de la Figura 13.

V_c	38,4625
-------	---------

Como $V3 < V_c$ se toma a $V3$ como la velocidad media (V) y se entra a la Figura 14 para determinar niveles de servicio.

$$V = 36,3697 \text{ km/h}$$

La vía posee un nivel de servicio E

4.3.4.3 Para la Vía Pamplona – La Lejía

porcentajes de hora pico pamplona - la lejia						
7,91	11,34	7,74	9,60	9,09	9,62	8,04

TPD proyectado (5 años)	Q hora pico (5 años)
2178	197

Figura 81. Datos de Entrada Método Colombiano (PROYECCIONES)

DATOS DE ENTRADA		UNIDADES	VALOR
ANCHO DE CARRIL (promedio)		metros	3,46
ANCHO DE BERMA		metros	0
RADIO DE LA CURVA MAS CERRADA		metros	20,47
TIPO DE TERRENO(1.plano,2. ondulado, 3. montañoso y escarpado)			3
TIPO DE PAVIMENTO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA (nivel funcional)		%	4
PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS		%	43,18
PENDIENTE ASCENDENTE		%	5,63
DISTRIBUCION DIRECCIONAL			54/46
LONGITUD DEL TRAMO		kilometros	3
DEFLEXION DE LA CURVA (si es necesaria)		grados	87
PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE (tabla)		%	100
VOLUMEN DE HORA PICO	197		

Fuente: Chaparro, D & Prada, C, 2017.

✓ CALCULO DE LA CAPACIDAD

Como se citó anteriormente el cálculo de la capacidad se limita a la siguiente formula:

$$C_{60} = F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p * C_i$$

Obteniendo los factores de las Figuras 2, 3, 4, 5 respectivamente se puede sintetizar los datos como:

FACTORES DE CORRECCION PARA CAPACIDAD	
F _{pe}	0,9074
F _d	0,932
F _{cb}	0,958
F _p	0,66156

Con los datos obtenidos se tiene:

$$C60 = 0,9074 * 0,932 * 0,958 * 0,66156 * 3200 = 1715 \text{ cp/h}$$

Se calcula el factor hora pico de la Figura 6.

$$FHP = 0,9115$$

Una vez obtenido el factor hora pico se calcula la capacidad para condiciones pico de cinco minutos C5

$$C5 = C60 * FHP$$

$$C5 = 1715 * 0,9115 = 1563 \text{ cp/h}$$

Se calculan las relaciones de utilización de la capacidad en la siguiente Figura:

Q/C60	0,1149
Q/C5	0,1260

✓ CALCULO DE NIVEL DE SERVICIO

Se determina Vi y Fu de las Figuras 7 y 8 respectivamente.

Vi	63,68
Fu	0,9894

Calculando V1

$$V1 = Vi * Fu$$

$$V1 = 63,68 * 0,9894 = 63,004 \text{ km/h}$$

Se obtienen Fsr y Fcb de la Figura 9 y 10 respectivamente.

Fsr	0,9769
Fcb	0,842

Calculando V2:

$$V2 = V1 * Fsr * Fcb$$

$$V2 = 63,004 * 0,9769 * 0,842 = 51,8247 \text{ km/h}$$

Se obtienen los datos de Fp1 y Fp2 de las Figuras 11 y 12 respectivamente.

Fp1	0,7976
Fp2	1,0564

Se obtiene Fp con la siguiente ecuación:

$$Fp = Fp1 * Fp2$$

$$Fp = 0,7976 * 1,0564 = 0,8425$$

Calculando V3:

$$V3 = V2 * Fp$$

$$V3 = 51,8247 * 0,8425 = 43,667 \text{ km/h}$$

Luego con el radio de la curva más cerrada se calcula Vc de la Figura 13.

Vc	37,21
----	-------

Como V3 no es < que Vc se procede a calcular otra velocidad media de viaje.

Se calcula la longitud L_c (longitud de la curva)

$$L_c = \text{Radio} * \text{Deflexion} * \left(\frac{\pi}{180}\right)$$

$$L_c = 20,47 * 87 * \left(\frac{\pi}{180}\right) = 31,082$$

Calculando L_{da} :

$$L_{da} = L_c + 130$$

$$L_{da} = 31,082 + 130 = 161,082$$

Ahora se calcula L_3 con la siguiente ecuación:

$$L_3 = 1000 * L - L_{da}$$

$$L_3 = 1000 * 3 - 161,082 = 2838,91$$

Ahora se calcula el tiempo T_3 con la ecuación:

$$T_3 = 3.6 * L_3 / V_3$$

$$T_3 = 3.6 * 2838,91 / 43,667$$

$$T_3 = 234,047 \text{ s}$$

Se calculan los tiempos de aceleración y desaceleración con las siguientes ecuaciones:

$$td1 = \frac{(-0.278 V3 + (0.077 * V3^2 - 49.40)^{1/2} * 2}{-0.19}$$

$$td2 = \frac{(-0.267V3 + (0.071 * V3^2 - 0.60 Lc)^{1/2}}{-0.30}$$

$$tda = \frac{(-0.256 V3 + (0.065 * V3^2 - 0.20 Lc)^{1/2}}{0.10}$$

$$Tda = td1 + td2 + tda$$

$$td1 = \frac{(-0.278 * 43,667 + (0.077 * 43,667^2 - 49.40)^{1/2} * 2}{-0.19} = 23,88$$

$$td2 = \frac{(-0.267 * 43,667 + (0.071 * 43,667^2 - 0.60 * 31,082)^{1/2}}{-0.30} = 2,849$$

$$tda = \frac{(-0.256 * 43,667 + (0.065 * 43,667^2 - 0.20 * 31,082)^{1/2}}{0.10} = 2,29$$

$$Tda = 23,88 + 2,849 + 2,29 = 29,033$$

Finalmente se procede a calcular la velocidad media:

$$T = T3 + Tda$$

$$velocidad\ media = 3600 * L/T$$

$$T = 234,047 + 29,033 = 263,081$$

$$velocidad\ media = 3600 * \frac{3}{263,081} = 41,051\ km/h$$

Con la velocidad media se remite a la Figura 14 para determinar el nivel de servicio. La vía posee un nivel de servicio E

4.4. RESULTADOS

4.4.1. Resultados del método colombiano

Para condiciones actuales se obtuvo:

RESULTADOS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO						
SECTOR	C60	C5	Q/C60	Q/C5	V	NDS
PAMPLONA-LA DON JUANA	1812	1487	0,2301	0,2803	38,9446	E
PAMPLONA-BERLIN	1738	1019	0,1675	0,2855	38,2288	D
PAMPLONA-LA LEJIA	1819	1567	0,1193	0,1385	47,5322	E

Para proyecciones a cinco años se obtuvo:

RESULTADOS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO PARA UNA PROYECCION DE 5 AÑOS (METODO COLOMBIANO)						
SECTOR	C60	C5	Q/C60	Q/C5	V	NDS
PAMPLONA-LA DON JUANA	1766	1619	0,1978	0,2158	38,5157	E
PAMPLONA-BERLIN	1567	1407	0,1334	0,1485	36,3697	E
PAMPLONA-LA LEJIA	1715	1563	0,1149	0,1260	41,0519	E

4.4.2. Análisis resultados método colombiano

4.4.2.1. Sector Pamplona – La Don Juana. Se determinó este nivel de servicio como un nivel E lo que quiere decir que la vía es muy propensa a congestiones y que cualquier vehículo a baja velocidad general fácilmente pelotones que cohiben la oportunidad de adelantamiento, esta descripción podríamos afirmar que es cierta en un alto porcentaje basándonos en la realidad pues constantemente se ven

grandes pelotones detrás de vehículos pesados. Aunque, existen algunos conductores de “vehículos pesados” que circulan sin problema a altas velocidades muy por encima de la velocidad media calculada lo que proporciona un porcentaje de error intangible en el método.

4.4.2.2. Sector Pamplona – Berlín. Este nivel de servicio se clasificó como D. A pesar de que esta vía cuenta con un porcentaje de camiones menor que el sector de Pamplona – La Don Juana, su diferencia oscila entre el 4 y 6 % y su velocidad media es muy similar, aun así esta vía es más propensa a congestiones que el tramo de La Don Juana. Esta situación se da gracias a que el uso de la vía para los usuarios frecuentes es más constante y los trabajadores de la zona a diario circulan por este sector. Los métodos analizan las características geométricas, pero no de una manera que pudiera ser significativa pues estos son de vital importancia a la hora de determinar un nivel de comodidad, el sector cuenta con una capacidad de 1738 (cp/h) lo que nos arroja un promedio de 28 carros por minuto en un punto en el instante antes de que la vía presente congestiones, esto en situaciones reales podría ser cuestionado ya que, no pasa esa cantidad de vehículos y aun así se presentan congestiones.

4.4.2.3. Sector Pamplona – La Lejía. Es curioso que un sector de vía con menos del 50 % de volumen mixto vehicular de otra vía aledaña se clasifique en el mismo nivel de servicio que esta con una velocidad media de viaje similar y pendientes similares, nuevamente entramos en la discusión de la falta de relevancia que proporcionan los métodos a las características geométricas, el sector de Pamplona – La Lejía esta y por lejos en unas condiciones de alineamiento mucho mejores que el sector Pamplona – La Lejía. Es importante decir que este sector es usado de manera significativa por ciclistas durante el tiempo con luz solar, factor que disminuye el nivel de servicio para un buen porcentaje de vehículos que podrían reducir su velocidad por estas situaciones, y este factor no es en ningún momento tenido en cuenta en el método.

Es también importante decir que el tránsito atraído por esta vía es mucho menor ya que las vías que preceden estas rutas se sitúan en malas condiciones en cuanto superficie de rodadura, lo que obliga a los conductores a buscar rutas alternas, por estas razones podríamos cuestionar directamente los rangos de velocidades de la Figura 14 del método colombiano.

4.4.2.4. Análisis de Proyecciones. En cuanto al trabajo de proyecciones se presencian varios factores importantes:

- Es demasiado impreciso en condiciones reales la proyección por los diferentes métodos para el tránsito, por lo menos en esta zona del país. Los datos son muy dispersos y las líneas de tendencia no cubren más del 50 por ciento de los datos, la precisión por cualquiera de los métodos de regresión es muy bajo para este caso en particular pues no nos atreveríamos a afirmar que esto se presenta en todo el país o gran parte de él.
- Si el TPD que se podría suponer que es un dato que crece es tan impreciso, el porcentaje de camiones es aún más pues existen datos demasiado salidos del contexto y no tienen una tendencia definida. Aunque los métodos estadísticos obtienen tendencias por defecto a crecer o decrecer estos datos perfectamente podrían ser lineales o constantes en el tiempo. Esto depende de muchos factores como el estado de las vías, la política, la economía e incluso condiciones sociales de la zona por esta razón sería incorrecto implementar una regresión o proyectar unos datos. En este orden de ideas nos sometemos a muchas posibilidades para considerar este dato que es casi imposible de prever matemáticamente y el porcentaje de error es muy alto a la hora de determinarlo.

- Un resultado importante de analizar es el decrecimiento del TPD, en estos casos surge el cuestionamiento de el por qué un TPD en una vía puede de crecer y crecer sin restricción a ninguna de estas acciones. Según los datos históricos proporcionados por el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) este dato puede simplemente oscilar en el tiempo, pero su tendencia es negativa o propensa a disminuir. En pocas palabras para algunas vías solamente no existe una tendencia tradicional, aunque no podemos afirmar que sería erróneo aplicar métodos estadísticos para intentar determinar valores futuros. Simplemente existen grupos de datos complicados de analizar y variaciones que solo posee el tránsito como factor fundamental de la movilidad en el país.

- Estas vías como se puede apreciar tienen tendencias en crecimiento que son muy bajas de unos años para acá. Aproximadamente desde el 2008 que se implementó el cierre de la frontera con la república venezolana, el tránsito en algunos años ha llegado a decrecer por muchos factores externos que anteriormente hemos mencionado. De esta manera surge el tema de la doble calzada próxima a construirse, pues va a enviar a un segundo plano a las vías en estudio en este documento, pero es necesario desplazar su utilidad. No queremos en ningún momento cuestionar la funcionalidad o la enorme diferencia en capacidad que esta doble calzada tiene con las vías existentes, aunque esta enorme capacidad podría llegar a ser excesiva para el crecimiento anual que presentan estas zonas del país.

- En cuanto al método estadounidense, los resultados son aproximados pues los niveles de servicio están en el mismo valor, todas las conclusiones de tipo de relaciones entre niveles de servicio y funcionalidad de las vías son aplicables al método, aunque proporciona unas bajas velocidades debajo de los rangos de resultados del método colombiano, este resultado se torna interesante pues nos brinda una idea de cómo se manejan las vías en

estados unidos y como se manejan en Colombia, aunque el método es aplicable se torna conservador para vías colombianas.

4.4.3. Resultados del método HCM 2010

Resultados método HCM 2010 para Niveles de Servicio en los sectores y direcciones estudiadas.

RESULTADOS DE NIVELES DE SERVICIO HCM 2010					
SECTOR-DIRECCION	VPV	NDS	PTSF	NSD	NDS DEFINITIVO
PAMPLONA- LA DON JUANA	33,16	E	57,39	C	E
LA DON JUANA PAMPLONA	27,59	E	73,87	D	E
PAMPLONA- BERLÍN	21,33	E	45,94	B	E
BERLÍN- PAMPLONA	31,73	E	70,38	D	E
PAMPLONA- LA LEJÍA	27,03	E	60,46	C	E
LA LEJÍA- PAMPLONA	29,89	E	39,49	B	E

Resultados método HCM 2010 para Capacidad en los sectores y direcciones estudiadas.

RESULTADOS DE CAPACIDAD HCM 2010			
SECTOR-DIRECCION	CAP VPV	CAP PTSF	CAP DEF
PAMPLONA- LA DON JUANA	0,17	0,15	0,17
LA DON JUANA PAMPLONA	0,53	0,17	0,53
PAMPLONA- BERLÍN	0,49	0,11	0,49
BERLÍN- PAMPLONA	0,21	0,19	0,21
PAMPLONA- LA LEJÍA	0,38	0,13	0,38
LA LEJÍA- PAMPLONA	0,10	0,08	0,10

4.4.4 Análisis resultados método HCM 2010.

Es de notar que el método oscila en rangos menores de nivel de servicio, lo que podría decirnos que este es más preciso o más puntual a la hora de generar unas ideas o dar unas características cualitativas a la comodidad del conductor. Sin embargo el hecho que los resultados sean más variables teniendo los mismos datos utilizados para el otro método, nos quiere decir que es más riguroso en cuanto a sus fórmulas, es decir son más trabajadas. Podríamos decir que el método es más conservador pues si algo nos queda claro es que no está en su totalidad adaptado a las características colombianas. Un claro punto es tomar los descensos como terrenos planos, este es una característica peculiar que no podría ser del todo cierta pues la libertad en descenso es de muchas maneras diferente a los terrenos planos por lo que se puede decir que no es en su totalidad aplicable a vías colombianas

Gracias al análisis direccional presentado por el método se muestra un acercamiento a la realidad de la Vía, ya que es muy diferente el comportamiento que muestra el vehículo en pendientes ascendentes que en pendientes descendentes a pesar de estar en el mismo sector.

4.4.4.1. Sector Pamplona – La Don Juana

✓ Sentido Pamplona- LA Don Juana

En este caso y teniendo en cuenta que el sentido de análisis tiene una pendiente positiva el porcentaje de tiempo de seguimiento en fila, nos ofrece un resultado de Nivele de Servicio bueno, ya que el método interpreta que al tener una pendiente razonable el vehículo a pesar de las limitaciones geométricas puede alcanzar velocidades que le permitan adelantar esto junto con el bajo volumen en sentido opuesto. Aun así la velocidad promedio de viaje nos permite apreciar un Nivel de Servicio más cercano a la realidad ya que en esta los factores geométricos tienen un nivel de importancia mayor por lo tanto el nivel de servicio

definitivo de la Vía es E, lo que nos indica que la vía presenta una variedad de restricciones a pesar de su pendiente positiva, en cuanto a la capacidad obtenemos un índice razonable que nos dice que la Vía está trabajando con condiciones consideradas buenas aun.

✓ **Sentido La Don Juana- Pamplona**

Debido al razonamiento por sentido utilizado en este método y a que en este sentido la pendiente es negativa los resultados para los análisis por este método son más bajos para el presente sentido, es así que el porcentaje de tiempo en seguimiento que en general da un Nivel de servicio mejor para este caso ya presenta un NDS bajo pero aun así sigue predominando la velocidad promedio de viaje como determinador del nivel de servicio las velocidades en este sentido son más bajas ya que los vehículos de carga deben desarrollar en algunos tramos velocidades de régimen lo que hace que se presenten pelotones y así se desmejore el Nivel de Servicio, en cuanto a la capacidad el fenómeno es similar debido a los pelotones que se presentan esta da muy alta y puede decirse que imprecisa ya que no muestra la capacidad real observada más aún si puede mostrar la capacidad en los minutos más críticos de la hora donde los vehículos que transitan son demasiados y llegan a generar congestión.

4.4.4.2. Sector Pamplona – Berlín

✓ **Pamplona- Berlín**

En esta Vía no se espera que el conductor alcance velocidades considerables debido a la alta pendiente que presenta el sector estudiado en este sector se presentan entre tangencias considerables pero tiene su funcionamiento condicionado por accesos a la vía lo que nuevamente afecta la velocidad promedio de recorrido, las curvas en este sector son más cerradas y consecutivas determina que los conductores deben reducir la velocidad afectando aún más el nivel de servicio que termina siendo E. En cuanto a la

relación de los dos factores estudiados para determinar el Nivel de Servicio final de la vía se encuentra que sigue siendo predominante la Velocidad Promedio de Viaje para la Capacidad podemos analizar que sucede un fenómeno similar al sentido La Don Juan- Pamplona siendo este una capacidad para periodos cortos donde los pelotones hacen que la vía colapse su Capacidad sin necesariamente esta mostrar una realidad General.

✓ **Berlín- Pamplona**

A pesar de ser un sentido con pendiente positiva el nivel más elevado en su pendiente logra que los conductores deban bajar su velocidad para evitar accidentes y contratiempos, se tiene igualmente un nivel de servicio E que se debe a las restricciones geométricas principalmente y a la falta de zonas de adelantamiento ya que como se dijo a pesar de entre tangencias altas estas siguen siendo restringidas por accesos, la capacidad muestra un factor más cercano a la realidad debido a que aun presentando pelotones estos son disipados con mayor facilidad gracias a la posibilidad de alcanzar altas velocidades en tramos cortos, factor que depende solo de la experticia de los conductores y que no se tiene en cuenta para la clasificación.

4.4.4.3. Sector Pamplona – La Lejía

✓ **Pamplona- La Lejía**

Esta vía es quizás la de mejores condiciones de las tres estudiadas nos presenta una pendiente negativa donde los conductores pueden alcanzar mejores velocidades esto combinado con un bajo tráfico y unas condiciones óptimas en su superficie ayudan a que la vía sea más agradable para su tránsito esto explicaría los resultados más bajos para Nivel de Servicio en tiempo de Seguimiento , a pesar de esto sus Velocidades promedio de Viaje son más bajas debido a que para este ítem se aforaron velocidades en las rectas más largas y las curvas de menor radio del tramo siendo estas dos, para la vía las menos

favorables lo que nos da una referencia de la falta de adaptación del método a la realidad Colombiana. En cuanto a la capacidad los resultados si son los esperados, debido a que como se demostró es la Vía de menor tráfico de las estudiadas.

✓ **La Lejía- Pamplona**

En este sector la vía mejora aún más sus condiciones ya que los conductores cuentan con una pendiente a favor y esta no es muy alta este podría ser el mejor acercamiento a las condiciones aplicadas para desarrollar el método y que este toma todos los descensos como terreno plano para su análisis, como se expresó la Velocidad Promedio de Viaje sigue siendo baja pero el porcentaje de tiempo en seguimiento es considerablemente bajo y muestra una situación visible en la vía así que para este Nivel de Servicio se puede afirmar que mejora hasta un Nivel D. La Capacidad mantiene las características se su sentido opuesto gracias a sus bajos volúmenes de tráfico y a que no presenta periodos cortos de congestión.

CONCLUSIONES

Para fortuna del equipo de trabajo se contó con la facilidad de realizar conteos durante tres años consecutivos que nos brindaron grados de precisión muchos más altos ya que en estos conteos se obtuvieron datos del tránsito más detallados. Estos datos, sumados al registro histórico proporcionado por el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) nos dio un concepto sobre la proyección del tránsito a futuro, está en la zona de Norte de Santander podría decirse que es demasiado impreciso y su correlación es muy baja para garantizar una proyección acertada de por lo menos el 50 por ciento.

De la toma de datos en campo podemos concluir que es mucho más factible ir directamente a la vía en estudio y tomar todos los datos geométricos manualmente pues los datos en fuentes informáticas son demasiado imprecisos con altos porcentajes de error. Además, que las fuentes de datos precisos son difíciles de conseguir y por lo general se requiere pagar para su obtención.

En cuanto a los puntos de acceso se puede afirmar que carecer del análisis de su influencia genera un vacío en la metodología colombiana, a su vez un nicho de estudio importante ya que a lo largo del desarrollo se evidencio como estos afectan la calidad del flujo vehicular en proporción a su importancia, aunque estos datos fueron presentados en el documento con fines informativos no fueron necesarios para el cálculo ni de la Capacidad ni del Nivel del Servicio ya que al ceñirnos a la metodología del HCM 2010 no fue necesario el análisis de estos.

De los volúmenes podemos concluir que estos son muy variables en diferentes horas y en cada vía ya que a grandes rasgos estas parecen cumplir funciones similares y el nivel de servicio es similar para las tres vías. En teoría la comodidad para el conductor es la misma, por lo tanto su transitabilidad también, pero visto desde el punto de vista de volúmenes de transito estos son muy variables puesto

que la vía Pamplona – La Don Juana aproximadamente dobla el volumen de la vía Pamplona – La Lejía. En el plano real esto no se presenta, pues, aunque hay momentos de comodidad por acción de la variación de los flujos, en la vía Pamplona – La Don Juana es mucho más difícil transitar.

Las diferencias entre métodos son bastante notables pues el HCM 2010 arroja resultados demasiado variables con respecto a los del método colombiano. Este resultado podría darse a los diferentes factores que toma el uno y el otro no. Por ejemplo, el análisis por sentido puede ser una desventaja a la hora de precisión en el diagnóstico. Igualmente para el método Estadounidense tomar en cuenta la velocidad podría ser una ventaja importante para las vías de su zona pues las velocidades que este método arrojó son variantes comparadas con las reales en campo, pues resultados de entre 20 y 30 km/h no podrían ser asimilados a velocidades de 40 y 45 km/h que son medidos en campo, esto tal vez se debe al análisis de los tramos de pendientes pues según el método Estadounidense las pendientes altas se presentan en tramos cortos y en Colombia estas son más comunes en tramos largos lo que dispara ciertos factores que determinan los volúmenes ajustados demasiado altos. En conclusión, el método Estadounidense es muy bueno para carreteras de su zona de estudio, no podría afirmarse que se puede aplicar a vías colombianas tradicionales, a diferencia del método colombiano que está más enfocado para este tipo de vías.

El método HCM 2010 muestra factores determinados para realidades diferentes a juzgar por el bajo rango de los resultados en comparación con Método Colombiano, deberá entonces pensarse en resultados mucho más conservadores al realizar cualquier análisis con dicha metodología y unas conclusiones con bajo nivel de asertividad para toma de decisiones.

El software CNDS 20.17 presentado se basa en la metodología utilizada por el método colombiano, este se proyecta como una herramienta de amplia utilización

tanto en el medio académico como en el profesional ya que simplifica el proceso de obtención de la Capacidad y Niveles de Servicio. La versión presentada toma los factores de la segunda versión del manual que es la última publicada, pero queda abierta la posibilidad de actualización del mismo cuando se presenten nuevas versiones del método. El software como producto le genera una relevancia al proyecto y abre la posibilidad para explorar nuevas posibilidades a nivel del Programa ya que queda demostrado que pueden presentarse productos propios en base al conocimiento que el estudiante adquiere en el desarrollo de una investigación.

RECOMENDACIONES

A lo largo del análisis de resultados se discutieron varios factores de los métodos que no tienen en consideración o no le proporcionan la importancia que deberían tener a la hora de determinar la capacidad y el nivel de servicio de una vía de dos carriles.

Igualmente plasmamos en este documento unas recomendaciones o acciones que el principal implicado debería tener en cuenta para la toma de datos en campo.

Importancia de los factores geométricos para juntos métodos: las características geométricas de una vía es fundamental en la determinación del nivel de servicio pues estos están basados en la comodidad del conductor, esta, se torna deficiente cuando el tramo tiene demasiadas y muy cortas entre-tangencias, incluso hay segmentos de carreteras que tienen combinación de curvas en diferentes direcciones sin ninguna entre-tangencia entre ellas esto hace que el conductor tenga que maniobrar y esto es lo que no se quiere en una vía ideal. Ninguno de los métodos de análisis tiene en cuenta este factor que según nuestra opinión es importante para la comodidad del conductor y por lo tanto el nivel de servicio del tramo en análisis.

Tipos de accesos: aunque el manual estadounidense toma en cuenta el número de accesos por kilómetro no toma en cuenta la utilidad o funcionalidad de estos pues existen tipos de accesos que pueden afectar el nivel de servicio y la velocidad. Surgen accesos de tipo permanente y momentáneo, por lo menos en Colombia se presenta esta condición en todas las vías nacionales los vehículos, ya sean pesados o de pasajeros entran en algunos accesos que son momentáneos y que una vez terminan su función el vehículo regresa a su trayectoria afectando el flujo real de estas vías. Igualmente hay accesos permanentes, cierto porcentaje de vehículos simplemente se retiran del flujo por lapsos de tiempo muy largos donde ya dejan de

ser importantes para el análisis, entre ellos vehículos pesados, aunque este es un porcentaje pequeño podría ser tenido en cuenta. No sobra la recomendación al método colombiano a que adopte este factor en su análisis.

Toma de datos en campo: Para personas que deseen adentrarse en la ingeniería de tránsito y principalmente el estudio del tráfico hay que tener presente que la obtención de datos por defecto de los métodos está en condiciones ideales y no representa las condiciones reales de la vía siempre es recomendable que los datos de campo sean tomados con la mayor precisión posible y supervisados por personal conocedor del tema. Esta recomendación es dirigida para varios condicionantes a la hora de tomar los datos de campo, por ejemplo, el aforo, se recomienda en una fecha que no presente ninguna de las características anteriormente mencionadas y el personal que lo realice esté capacitado pues la clasificación de los tipos de vehículos está estipulado por el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) y no debe ser pasado por alto. Igualmente las velocidades para el método estadounidense deben ser lo más precisas posibles pues el método para determinación de la velocidad a flujo libre es bastante riguroso y si el promedio medido en campo o el conteo durante ese lapso de tiempo es equivoco, no sirve de mucho la aplicación de estos métodos.

Al momento de trabajar el Método HCM 2010 y con el fin de que sus resultados tengan un mejor acercamiento a la realidad Colombiana se deben elegir sectores cortos que muestren pendientes similares a las del tramo estudiado, esto con el fin de minimizar la acción de los factores en los que intervienen la longitud del tramo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Infraestructura. (2012). *Volúmenes de Tránsito y costos de operación 2010-2011*. Obtenido de <ftp://ftp.ani.gov.co/Iniciativas%20Privadas/Bogota%20Girardot%20tercer%20Carril/1.%20ESTUDIO%20DE%20TRAFICO%20Y%20DEMANDA/1.2%20ESTUDIO%20DE%20TRAFICO/ANEXOS/ANEXO%208%20Vol%C3%BAmenes%20Vehiculares%20Hist%C3%B3ricos/Cartilla%20INVIAS/VOLUME~1.PDF>
- Bernal, M. (20 de Enero de 2016). Carreteras colombianas: en vías de desarrollo. *Revista de Logística*. Recuperado el 23 de 04 de 2017, de <http://revistadelogistica.com/actualidad/carreteras-colombianas-en-vias-de-desarrollo/>
- Cerquera, E., & Flor, Á. (15 de Octubre de 2007). *CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL*. Tunja, Boyaca: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Fernandez, P. (27 de Mayo de 2002). *Investigación Cuantitativa y Cualitativa*. (C. H. (España), Ed.) Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_Lecture_2/4/2.Pita_Fernandez_y_Pertegas_Diaz.pdf
- Herrera, V. (2008). <http://www.bdigital.unal.edu.co/>. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3555/1/victorhugonaranjoherrera.2008.pdf>
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (24 de Agosto de 2011). <http://www.gifex.com/>. Obtenido de <http://www.gifex.com/America-del-Sur/Colombia/Norte-de-Santander/Carreteras.html>
- Instituto Nacional de Vías- INVIAS. (2014). <http://hermes.invias.gov.co/carreteras/>. Obtenido de <http://hermes.invias.gov.co/carreteras/>

Moreno, P., & Gonzales, J. (2010). *BIBLIOTECA VIRTUAL- BIBLIOTECA LUIS ÁNGEL ARANGO*. Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/caminos/venez13b.htm>

Secretaría Comunicaciones y Transporte. (20 de 12 de 2013). *Manual De Proyecto Geométrico De Carreteras*. (S. d. Transporte, Ed.) Recuperado el 24 de 03 de 2017, de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/proyecto_g/MPGC_2016.pdf

Transportation Research Board. (2011). *Highway Capacity Manual 2010* (6 ed., Vol. 2). California: Transportation Research Board.

Universidad del Cauca. (1996). *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio Para Carreteras de Dos Carriles*. Popayán: Convenio Interinstitucional No. 1014 de 1995 Instituto Nacional de Vías – Universidad del Cauca.

ANEXOS

Anexo A. Estado actual de la vía Pamplona- La Don Juana



Anexo B. Estado actual de la vía Pamplona- Berlín



Anexo C. Estado actual de la vía Pamplona- La Lejía



Anexo D. Abscisado inicial y final

Pamplona- La Don Juana PR 71+000.



Pamplona- La Don Juana PR 74+000.



Pamplona- Berlín PR 119+000.



Pamplona – Berlín PR 122+000.



Pamplona- La Lejía PR 65+300.



Pamplona- La Lejía PR 67+800.



Anexo E. Ancho de calzada.

Ancho de Calzada Pamplona- La Don Juana.



Ancho de Calzada Pamplona- Berlín.



Ancho de Calzada Pamplona- La Lejía.



Anexo F. Ancho de bermas

Registro de Bermas Pamplona- La Don Juana.



Registro de Bermas Pamplona- Berlín.



Registro de Bermas Pamplona- La Lejía.



Anexo G. Puntos de acceso

Accesos en el sector Pamplona – La Don Juana.



Abscisa K71 +300

Abscisa K71 +380



Abscisa K71 +580

Abscisa K71 +950



Abscisa K72 +350



Abscisa K72 +500



Abscisa K72 +950

Abscisa K72 +600

Accesos en el sector Pamplona – Berlín.



Abscisa K121 +500

Abscisa K120 + 300



Abscisa K120 + 330



Abscisa K120 + 230



Abscisa K120 + 180



Abscisa K120 + 190



Abscisa K121 + 200



Abscisa K121 + 100

Abscisa K121 + 115

Accesos en el sector Pamplona – La Lejía.



Abscisa K66 + 500



Abscisa K65 + 800



Abscisa K65 + 600



Abscisa K67 + 250



Abscisa K67 + 750



Abscisa K67 + 850



Abscisa K66 + 100

Anexo H. Estado superficie de rodadura

Estado Superficie de Rodadura Pamplona- La Don Juana.



Estado Superficie de Rodadura Pamplona- Berlín.



Estado Superficie de Rodadura Pamplona- La Lejía.



Formato J. Velocidades

	DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO DE LAS VÍAS NACIONALES QUE CONECTAN A PAMPLONA CON EL RESTO DEL PAÍS												
	FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA - INGENIERÍA CIVIL												
	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA												
FECHA / /		AFORADOR:		OBSERVACIONES:									
TRAMO	MUESTRA												
SENTIDO	PAMPLONA - BERLIN						BERLIN - PAMPLONA						
CURVA K119 + 860	TIPO VEH	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	TIPO VEH	VEL (KM/H)					
	AUT						AUT						
RECTA K121 + 680	TIPO VEH	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	VEL (KM/H)	TIPO VEH	VEL (KM/H)					
	AUT						AUT						

Anexos K. Digitales.

ANEXO 1.1. AFOROS

PAMPLONA-LA DON JUANA-2015

PAMPLONA-BERLÍN-2015

PAMPLONA-LA LEJÍA-2015

LA DON JUANA-PAMPLONA.-PAMPLONA-LA DON JUANA-2016

PAMPLONA-BERLÍN-2016

LA LEJÍA-PAMPLONA.-PAMPLONA-LA LEJÍA-2016

PAMPLONA-LA DON JUANA-2017

PAMPLONA-BERLÍN-2017

PAMPLONA-LA LEJÍA-2017

ANEXO 1.2. RESUMEN DATOS

Anexo 1.2. Resumen de Datos

ANEXO 1.3. LEVANTAMIENTOS

Anexo K Cúcuta.

Anexo k Bucaramanga.

Anexo K Chitaga.