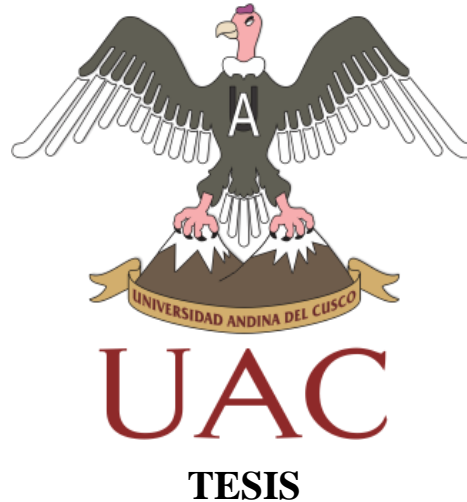




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO, SEGÚN
MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010) EN LA VÍA PE-3S TRAMO
ARCO TICA TICA-IZCUCHACA”

Presentado por:

Bachiller Cuentas Cárdenas, Mario Eslander

Bachiller Ayala Cusihuallpa, Julio César

Para optar el título profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Jean Fernando Pérez Montesinos

Cusco – Perú

2019



DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional pese a las adversidades pasadas en este transcurso de mi vida, que este trabajo sea fruto de un esfuerzo ya cumplido y anhelado.

Julio César Ayala.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por ser el inspirador y darme fuerza suficiente para continuar en este proceso de culminar mi carrera universitaria.

A mis padres; por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy ahora. Ha sido un orgullo y un privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermana Erika; por sus cuidados en mis primeros pasos, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

A mi hermano Miguel; por ser una persona tan sincera y humana, por todos los consejos brindados y por su ejemplo como persona y profesional.

Gracias por ser parte de mi vida.

Mario Eslander.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme en todo momento y permitirme culminar esta etapa de mi vida

A mis padres Elías y Catalina; un agradecimiento eterno por su bríndame todo lo necesario para culminar mis estudios y un agradecimiento especial por su ejemplo de trabajo, esfuerzo y amor.

A mis hermanos por siempre motivarme a culminar mi tesis.

A mi asesor de tesis Mgt. Ing. Jean Fernando Pérez Montesinos por el apoyo a largo de la tesis, por su asesoramiento para la culminación de la misma.

A los comisarios de Poroy; por las facilidades para la recolección de data de hora punta.

A los conductores de la ruta Cusco-Izcuchaca por brindarnos su tiempo para realizar las encuestas.

Julio César Ayala.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Andina del Cusco, de manera especial a los Docentes y Autoridades de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes compartieron sus conocimientos, experiencias y valores éticos para poder enfrentar la vida profesional.

A mi asesor de tesis Ing. Jean Fernando Perez Montesinos por haberme guiado y orientado tan acertadamente en la presente investigación.

A todas las personas que de distinta manera colaboraron hasta la culminación de este trabajo, gracias.

Mario Eslander



RESUMEN

La investigación tiene por nombre “DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO, SEGÚN MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010) EN LA VÍA PE-3S TRAMO ARCO TICA TICA-IZCUCHACA”

En la presente investigación se detalla el proceso de investigación de análisis del tramo de carretera desde Arco Tica tica hasta Izcuchaca perteneciente a la carretera nacional PE-3S, con el objetivo general de determinar su capacidad vial y nivel de servicio mediante el uso de las siguientes variables: Velocidad Media de Recorrido (VMR) y Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTS), aplicando la metodología propuesta por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) traducido al español. Se escogió este tramo de carretera ya que presenta una gran cantidad de flujo vehicular debido a que es un acceso principal a zonas turísticas como Chincheros, Urubamba, Ollantaytambo, Valle Sagrado, entre otros, las cuales generan gran cantidad de demanda turística para la región del Cusco.

El enfoque de la investigación del presente trabajo es cuantitativo, con un nivel de investigación de tipo correlacional y un método de investigación deductivo. El diseño metodológico adoptado es de tipo no experimental longitudinal, debido a que se va a evaluar el contexto en las condiciones como se presenta sin la modificación de ninguna variable en el transcurso de la investigación.

Este trabajo de investigación detalla cada una de las etapas ejecutadas, desde el levantamiento de información en campo (pendientes longitudinales de la vía, zonas de no adelantamiento, demanda, clase de carretera, velocidad media de la muestra), procedimiento de análisis de datos (cálculos, aplicación de fórmulas, aplicación de métodos de evaluación, diagramas, tablas, perfiles) y análisis de resultados, donde se determinó la capacidad vial y nivel de servicio.

En conclusión, se determinó el nivel de servicio por clase de carretera y sentido como sigue:

Nivel de servicio clase II (sentido Arco Tica Tica - Izcuchaca) es D y con una Capacidad vial de 1700 veh/h

Nivel de servicio clase II (sentido Izcuchaca - Arco Tica Tica) es C y con una Capacidad vial de 1133 veh/h

Nivel de servicio clase I (sentido Arco Tica Tica - Izcuchaca) es E y con una Capacidad vial mínima de 1296 veh/h y la máxima de 1700 veh/h

Nivel de servicio clase I (sentido Izcuchaca - Arco Tica Tica) es E y con una Capacidad vial mínima de 1133 veh/h y la máxima de 1581 veh/h

Finalmente se presenta como propuesta la ejecución de carriles adicionales en los pequeños tramos de carretera donde se encontró niveles de servicio bajos, con la finalidad de obtener una mejor distribución del flujo vehicular y por ende mayor velocidad de circulación para los vehículos.



ABSTRACT

The investigation is called “DETERMINATION OF ROAD CAPACITY AND SERVICE LEVEL, ACCORDING TO HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010) ON THE ROAD PE-3S ARCO TICA TICA-IZCUCHACA SECTION”

The present investigation details the investigation process of the analysis of the road section from Arco Tica Tica to Izcuchaca belonging to the PE-3S national highway, with the general objective of determining its road capacity and service level by using the following Variables: Average Travel Speed (VMR) and Percentage of Tracking Time (PTS), applying the methodology proposed by the Road Capacity Manual (HCM 2010) translated into Spanish. This section of road was chosen since it presents a large amount of vehicular flow because it is a main access to tourist areas such as Chincheros, Urubamba, Ollantaytambo, Sacred Valley, among others, which generate a large amount of tourist demand for the region of the Cusco

The research approach of this work is quantitative, with a level of correlational research and a deductive research method. The methodological design adopted is of a longitudinal non-experimental type, because the context in the conditions will be evaluated as presented without the modification of any variable during the course of the investigation.

This research work details each of the stages executed, from the collection of information in the field (longitudinal slopes of the road, areas of no overtaking, demand, road class, average sample speed), data analysis procedure (calculations, application of formulas, application of evaluation methods, diagrams, tables, profiles) and analysis of results, where the road capacity and service level were determined.

In conclusion, the level of service was determined by road class and felt as follows:

Class II service level (direction Arco Tica Tica - Izcuchaca) is D and with a road capacity of 1700 vehicles / h

Class II service level (direction Izcuchaca - Arco Tica Tica) is C and with a road capacity of 1133 vehicles / h

Class I service level (direction Arco Tica Tica - Izcuchaca) is E and with a minimum road capacity of 1296 vehicles / h and the maximum of 1700 vehicles / h

Class I service level (direction Izcuchaca - Arco Tica Tica) is E and with a minimum road capacity of 1133 vehicles / h and the maximum of 1581 vehicles / h

Finally, the execution of additional lanes in the small sections of the road where low service levels were found was presented, with the purpose of obtaining a better distribution of the vehicle flow and therefore greater speed of movement for the vehicles.



INTRODUCCIÓN

El tramo de carretera desde Arco Tica Tica hasta Izcuchaca (vía de dos carriles), en la actualidad está sufriendo congestión vehicular durante la mayor parte del día debido a tres aspectos muy importantes: el aumento del número de usuarios, las colas que producen vehículos de carga pesada y buses de transporte público interdepartamental, y además de ser un acceso a zonas de gran importancia turística para la ciudad del Cusco. Para lo cual se requiere ofrecer una solución viable que nos ayude a afrontar los problemas mencionados anteriormente.

Es por ello que la presente Tesis trata de investigar que valores toman la velocidad media de recorrido (VMR) y el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS) variables muy importantes para identificar a que categoría de nivel de servicio pertenece.

El tramo en estudio está comprendido desde el sector denominado Arco Tica Tica hasta la localidad de Izcuchaca entre las provincias de Cusco y Anta, con una longitud total aproximada de 16.66 km, evaluado mediante el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). El estudio se realizó entre los meses de marzo y junio del año 2018.

El problema general de la investigación se ha formulado con la siguiente pregunta: ¿cuál es la capacidad vial y nivel de servicio según el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la vía PE-3S tramo Arco Tica Tica - Izcuchaca? El objetivo general planteado es determinar la capacidad vial y nivel de servicio según la velocidad media de recorrido (VMR) y porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS) basado en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca.

Para el desarrollo de la Tesis se ha considerado como base investigaciones pertenecientes a la Universidad Andina del Cusco, donde los autores evalúan el incremento de la demanda del tránsito vehicular en el tramo Urcos – Sicuani con el fin de mejorar su transitabilidad. Para lo cual sectorizaron todo el tramo en ocho partes según sus características geométricas y tránsito vehicular, con el objetivo de identificar la capacidad, nivel de servicio y la incidencia de la serviciabilidad (psi) en todo este tramo aplicando el Manual de Carreteras (HCM) versión 2010. Otra investigación tomada de la Universidad Andina del Cusco se enfocó en analizar la capacidad vial y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la Avenida de la Cultura - tramo: Jirón Cahueide- calle Urbanización Santa Úrsula, en la ciudad del Cusco conformado por 7 intersecciones que son muestra del estudio debido a que en la avenida de La Cultura está localizada una zona conformada por centros comerciales, supermercados, instituciones educativas, los cuales son los principales generadores de viajes que son la principal



causa de congestión en las intersecciones. El autor utilizó la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2010).

También se tomó como base el trabajo presentado en la Universidad de San Carlos de Guatemala en la cual se busca ampliar el conocimiento de las técnicas de evaluación del Nivel de servicio de carreteras, como parte de la Ingeniería de Tránsito en Guatemala, según la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2000). El estudio se realizó en el tramo Agua Caliente hacia el desvío a Sanarate, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 29 al kilómetro 52; y en el tramo correspondiente al desvío de Sanarate hacia Agua Caliente, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 52 al kilómetro 23.

Y como último antecedente se consideró la tesis perteneciente a la Universidad Técnica Particular De Loja, la cual tiene como objetivo principal determinar el nivel de servicio y capacidad de la vía Loja – Vilcabamba en el tramo Loja – Landangui, evaluado mediante la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual 2000. Para lograr dicho objetivo se determinaron datos como aforo vehicular, aforo de velocidades, porcentaje de buses y camiones, porcentaje de vehículos de recreación, factor de hora pico, tipo de terreno, dimensión de los espaldones, porcentajes de zonas de no rebasamiento, velocidad de flujo libre, ancho de carril, longitud total del tramo de estudio, densidad de acceso por kilómetro. Con todos estos datos se determinó el nivel de servicio del tramo de vía mediante el uso de la tabla Niveles de Servicio.

La base normativa del presente estudio está referida a protocolos de control (guías, fichas, formato de conteo vehicular, formato de aforo vehicular, formato de recolección de velocidades) y en normativas nacionales e internacionales como el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y principalmente el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010).



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTOS iii

RESUMEN..... v

ABSTRACT..... v

INTRODUCCIÓN vii

ÍNDICE GENERAL..... ix

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

ÍNDICE DE TABLAS xvi

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

 1.1. Identificación del problema..... 1

 1.1.1. Descripción del problema 1

 1.1.1.1.Descripción de la problemática 1

 1.1.1.2.Ubicación del tramo de estudio 3

 1.1.1.3.Ubicación Geográfica 3

 1.1.2. Formulación del Problema..... 4

 1.1.2.1.Formulación del Problema General 4

 1.1.2.2.Formulación de los Problemas Específicos 4

 1.2. Justificación e importancia de la investigación 4

 1.2.1. Justificación técnica..... 4

 1.2.2. Justificación social..... 5

 1.2.3. Justificación por viabilidad..... 5

 1.2.4. Justificación por relevancia 6

 1.3. Limitaciones de la investigación 6

 1.4. Objetivos 7

 1.4.1. Objetivo General..... 7

 1.4.2. Objetivos Específicos 7

 1.4.2.1.Objetivo Específico 01 7

 1.4.2.2.Objetivo Específico 02 7



- 1.4.2.3. Objetivo Específico 03 7
- 1.4.2.4. Objetivo Específico 04 7
- 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO..... 8
 - 2.1. Antecedentes de la tesis..... 8
 - 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional 8
 - 2.1.1.1. Universidad Andina del Cusco 8
 - 2.1.1.2. Universidad Andina del Cusco 9
 - 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional 10
 - 2.1.2.1. Universidad de San Carlos de Guatemala..... 10
 - 2.1.2.2. Universidad Técnica Particular de Loja..... 12
 - 2.2. Aspectos teóricos pertinentes 13
 - 2.2.1. Carreteras de dos carriles 13
 - 2.2.1.1. Clasificación de las carreteras de dos carriles 14
 - 2.2.2. Tipo de terreno..... 15
 - 2.2.2.1. Terreno llano o plano..... 15
 - 2.2.2.2. Terreno ondulado..... 15
 - 2.2.2.3. Terreno pendiente específica 15
 - 2.2.2.4. Terreno rampa específica..... 16
 - 2.2.3. Clasificación por tipo de vehículo 16
 - 2.2.3.1. Vehículos ligeros 16
 - 2.2.3.2. Vehículos pesados 16
 - 2.2.4. Nivel de servicio (NS) 17
 - 2.2.4.1. Uso..... 18
 - 2.2.4.2. Naturaleza escalonada de la función nivel de servicio 18
 - 2.2.4.3. Modo Automóvil 19
 - 2.2.5. Calidad de servicio 21
 - 2.2.6. Capacidad vial 23
 - 2.2.7. Pasos de cálculo de nivel de servicio y capacidad vial..... 24
 - 2.2.7.1. PASO 01: Datos de partida..... 24



2.2.7.2.PASO 02: Determinación de velocidad libre (VL).....	24
2.2.7.3.PASO 03: Ajuste de la demanda (para determinar la velocidad media de recorrido VMR)	28
2.2.7.4.PASO 04: Estimar VMR	36
2.2.7.5.PASO 05: Ajuste de la demanda para estimar PTS	38
2.2.7.6.PASO 06: Estimación de porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS)	42
2.2.7.7.PASO 08: Determinación de nivel de servicio (NS) y capacidad vial	44
2.2.7.8.Propuesta para vías de dos carriles	46
2.3. Hipótesis.....	56
2.3.1. Hipótesis General.....	56
2.3.2. Sub Hipótesis	56
2.3.2.1.Hipótesis Especifica 01.....	56
2.3.2.2.Hipótesis Especifica 02.....	56
2.3.2.3.Hipótesis Especifica 03.....	56
2.3.2.4.Hipótesis Especifica 04.....	56
2.4. Definición de variables.....	57
2.4.1. Variables Independientes.....	57
2.4.1.1.Nivel o Dimensión de Variable Independientes para VMR	57
2.4.1.2.Nivel o Dimensión de Variable Independientes para PTS.....	57
2.4.2. Variables Dependientes	58
2.4.2.1.Indicadores de Variables Dependientes para Capacidad Vial	58
2.4.2.2.Indicadores de Variables Dependientes para Nivel de Servicio	58
2.4.3. Cuadro de Operacionalización de variables.....	59
2.4.4. Matriz de consistencia	60
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	61
3.1. Metodología de la investigación.....	61
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	61
3.1.2. Nivel o alcance de Investigación	61
3.1.3. Método de Investigación.....	62



3.2.	Diseño de la investigación.....	62
3.2.1.	Diseño metodológico.....	62
3.2.2.	Diseño de ingeniería.....	62
3.3.	Población y muestra.....	65
3.3.1.	Población.....	65
3.3.1.1.	Descripción de la población.....	65
3.3.1.2.	Cuantificación de la población.....	65
3.3.2.	Muestra.....	65
3.3.2.1.	Descripción de la muestra.....	65
3.3.2.2.	Cuantificación de la muestra.....	66
3.3.2.3.	Método de muestreo.....	71
3.3.2.4.	Criterios de evaluación de muestra.....	71
3.3.3.	Criterios de inclusión.....	71
3.4.	Instrumentos.....	72
3.4.1.	Instrumentos metodológicos.....	72
3.4.1.1.	Guías de observación de campo.....	72
3.4.1.1.1.	Formato de recolección de datos (Cotas, Progresivas y Pendientes Longitudinales).....	73
3.4.2.	Instrumentos de ingeniería.....	76
3.5.	Procedimiento de Recolección de Datos.....	78
3.5.1.	Características geométricas.....	78
3.5.1.1.	Delimitación de progresivas, cotas y ancho de carretera.....	78
3.5.1.2.	Determinación de pendientes longitudinales del tramo.....	79
3.5.1.3.	Determinación de inicio y fin de zonas de no adelantamiento.....	80
3.5.2.	Toma de velocidades.....	82
3.5.3.	Determinación del día y hora con mayor demanda de vehículos.....	94
3.5.3.1.	Determinación de la hora punta probable.....	94
3.5.3.2.	Aforo de vehículos.....	98
3.6.	Procedimientos de análisis de datos.....	102



3.6.1.	Nivel de servicio.....	102
3.6.1.1.	Determinación de sub tramos y segmentos.....	102
3.6.1.2.	Velocidad media de recorrido (VMR).....	104
3.6.1.3.	Porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS).....	114
3.6.1.4.	Estimación de porcentaje de tiempo de seguimiento en sentido directo (PTSd).....	117
3.6.1.5.	Cálculo del nivel de servicio y capacidad.....	122
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS	128
4.1.	Resumen de nivel de servicio y capacidad vial por segmentos	128
5.	CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	132
5.1.	Interpretación de los resultados	132
5.2.	Contraste de resultados referente a un antecedente	133
5.3.	Aporte de la investigación	135
	Glosario.....	151
	Conclusiones	155
	RECOMENDACIONES	159
	Referencias Bibliográficas	161
	ANEXOS	162



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formación de pelotones en Cachimayo	1
Figura 2: Vehículos originado retraso en adelantamiento en terminal de E.T Satélite	2
Figura 3: Flujo vehicular en desvío Izcuchaca-Urubamba.....	2
Figura 4: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
Figura 5: Factor de ajuste por ancho de carril y arcén, fao	27
Figura 6: factor de ajuste por densidad de accesos en ambos sentidos, fDA	27
Figura 7: Factor de ajuste por tipo de terreno (ft, VMR). Terrenos llanos, ondulados y pendientes, específicos	29
Figura 8: Vehículos ligeros equivalentes a camiones (Ec) y RVs (Er) en terrenos llanos, ondulados y en pendientes ↓ específicas.....	32
Figura 9: Vehículos ligeros equivalentes (ECL) a camiones circulando a velocidad límite en pendientes ↓ (para determinar VMR).....	36
Figura 10: factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS), terrenos llanos, ondulados y pendientes específicas	39
Figura 11: VLE para camiones (Ec) y RVs (Er) en terreno llano, ondulado y en pendientes específicas (para determinación de PTS)	40
Figura 12: Cálculo de PTS, coeficientes a utilizar en Ecuación 10 para estimar PTSB.....	43
Figura 13: Efecto de un carril para circulación rápida sobre PTS.....	46
Figura 14: Distancia (corriente abajo) de influencia de carril adicional para circulación rápida.	47
Figura 15: Longitudes optimas de carriles adicionales para circulación rápida en carreteras de dos carriles.	49
Figura 16: Efecto sobre PTS de un carril para circulación rápida.....	50
Figura 17: Fca, PTS – factor de ajuste por carril adicional para circulación rápida.....	51
Figura 18: Impacto sobre VMR provocado por carril para circulación rápida.....	52
Figura 19: Factor de ajuste (fca, VMR) por carril para circulación rápida	53
Figura 20: Flujograma del tema de investigación	64
Figura 21: Muestra 01 (sentido Arco Tica Tica-Izcuchaca).....	67
Figura 22: Muestra 01 (sentido Izcuchaca- Arco Tica Tica).....	68
Figura 23: Muestra 02 (sentido Arco Tica tica- Izcuchaca).....	69
Figura 24: Muestra 01 (sentido Izcuchaca- Arco Tica tica).....	70
Figura 25: Formato de conteo vehicular.....	72
Figura 26: Formato de recolección de velocidades.....	73
Figura 27: Formato de recolección de datos.....	74
Figura 28: Formato de Recolección de Coordenadas.....	75
Figura 29: Instrumentos de Ingeniería.....	77



Figura 30: Delimitación de progresiva KM04+000 78

Figura 31: Delimitación de progresiva KM06+680 79

Figura 32: Inicio y Fin de Zonas de No Adelantamiento de acuerdo al GPS..... 81

Figura 33: Inicio de Zonas de No Adelantamiento 81

Figura 34: Fin de Zonas de No Adelantamiento 82

Figura 35: Toma de velocidades en campo con pistola radar de bushnell 92

Figura 36: Toma de velocidades en campo con pistola radar de bushnell 92

Figura 37: Aplicación de la encuesta a los conductores de vehículos..... 94

Figura 38: Aplicación de la encuesta a los conductores de vehículos..... 95

Figura 39: Encuesta realizada en la comisaría de Poroy 95

Figura 40: Encuesta para determinar el día de la semana con más flujo vehicular y hora punta 96

Figura 41: Determinación de la hora punta en campo Km 05+00..... 97

Figura 42: Determinación de la hora punta en campo Km 0+300..... 97

Figura 43: Encuesta para determinar el día con más flujo vehicular y la hora punta en la comisaría de Poroy 98

Figura 44: Aforo vehicular en paradero Final Satélite 99

Figura 45: Aforo vehicular en paradero Desvió Anta-Urubamba 100

Figura 46: Aforo vehicular en paradero Desvío-Pucyura..... 100

Figura 47: Formato de conteo vehicula-carril 07 101

Figura 48: Formato de conteo vehicula-carril 08 101

Figura 49: Hora punta para el SUBTRAMO 4..... 106

Figura 50: Hoja de cálculo de VMR..... 110

Figura 51: Hoja de Cálculo de Segmento 23-24 112

Figura 52: Reparto por sentidos para Carril 07 y 08 115

Figura 53: Hoja de cálculo de PTS..... 118

Figura 54: Hoja de Cálculo PTS-Segmento 23-24 120

Figura 55: Hoja de Cálculo de Nivel de Servicio y Capacidad Vial-seg.21-22 124

Figura 56: Hoja de Cálculo de Nivel de Servicio y Capacidad Vial-seg.23-24 126

Figura 57: Valores de las pendientes representativas del tramo de estudio 134

Figura 58: Hoja de Cálculo-Propuesta 01 136

Figura 59: Hoja de Cálculo-Propuesta 02 139

Figura 60: Hoja de Cálculo-Propuesta 03 143

Figura 61: Hoja de Cálculo - Propuesta 04 148



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterio de NS para modo automóvil en carreteras de dos carriles	20
Tabla 2: Factor de ajuste por tipo de terreno (ft, VMR). Rampas ↑ específicas	31
Tabla 3: Vehículos Ligeros Equivalentes a Camiones (Ec) en Rampas ↑Específicas (para determinar VMR).	34
Tabla 4: Vehículos ligeros equivalentes a RVs (Er) en rampas ↑específicas (para determinar VMR).....	35
Tabla 5: Factor de ajuste por % de no adelantamiento (fna,VMR) para determinar VMR.....	37
Tabla 6: factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS)factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS).....	39
Tabla 7: VLE para camiones (Ec) y RVs (Er) circulando en rampas específicas (para determinación de PTS).....	41
Tabla 8: Factor de Ajuste por % de No Adelantamiento fna,PTS (para determinación de PTS).....	43
Tabla 9: Ficha de Observación-Terreno Ondulado	83
Tabla 10: Ficha de Observación-Terreno Plano	86
Tabla 11: Ficha de Observación-Terreno Rampa y Pendiente Específica	89
Tabla 12: Resumen de Sub Tramos y Segmentos	103
Tabla 13: Resumen de NS-CV de segmentos-sentido Tica Tica-Izcuchaca	128
Tabla 14: Resumen de NS-CV de segmentos-sentido Izcuchaca –Tica Tica.....	129
Tabla 15: Resumen de NS-CV por carril de adelantamiento-clase II	130
Tabla 16: Resumen de NS-CV por carril de adelantamiento-clase I.....	130
Tabla 17: Resumen de propuesta por clase de carretera clase II	131
Tabla 18: Resumen de propuesta por clase de carretera clase I	131
Tabla 19: Resumen de PTS-VMR – propuesta 01	135
Tabla 20: Resumen de VMR-PTS - Propuesta 02.....	138
Tabla 21: Resumen PTS-VMR- Propuesta 03.....	142
Tabla 22: Resumen propuesta VMR-PTS propuesta 04.....	147

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

1.1.1.1. Descripción de la problemática

El tramo de carretera Arco Tica tica-Izcuchaca se encuentra en saturación por las mañanas y las tardes a causa del aumento del número de usuarios, debido a que es una carretera de transporte de carga pesada y de transporte de pasajeros interurbano, interprovinciales e interdepartamentales, el cual disminuye el nivel de servicio del tramo y además está originando la saturación de esta. Las causas que consideramos determinantes son:

- Es muy común en el tramo de carretera Arco Tica tica-Izcuchaca la formación de pelotones o colas de vehículos en las horas pico lideradas por vehículos pesados o por vehículos cuya velocidad es menor a la de los demás.

Figura 1: Formación de pelotones en Cachimayo



Fuente: Propia

- En este tramo de carretera se puede observar durante la demarcación del tramo y aplicación de encuestas, que el tiempo que demora un vehículo siguiendo a otro sin poder adelantar es de alrededor de 10 minutos, esto ocasiona incomodidad por parte de los usuarios.

Figura 2: Vehículos originado retraso en adelantamiento en terminal de E.T Satélite



Fuente: Propia

- Se puede evidenciar que el flujo vehicular es crítico durante el día, entre las 6 am y 8 am y por la noche, de 6 pm a 8 pm de acuerdo a la exploración del tramo durante las 24 horas.

Figura 3: Flujo vehicular en desvío Izcuchaca-Urubamba



Fuente: Propia

- Durante el recorrido del tramo se pudo evidenciar la presencia de vehículos pesados los cuales ocasiona colas en ciertos tramos generando puntos negros.
- A pesar de que la vía cuenta con señalización horizontal y vertical, carecen de los requerimientos de la norma como velocímetros y rompemuelles que puedan controlar la velocidad.

1.1.1.2. Ubicación del tramo de estudio

Este estudio fue realizado en el tramo de carretera Arco Tica tica - Izcuchaca del departamento del Cusco el cual está realizada en la rama de ingeniería de transportes. Para llevar a cabo la Tesis: “determinación de la capacidad vial y nivel de servicio, según manual de capacidad de carretera (HCM 2010) en la vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca” se utilizó diferentes métodos de investigación para la evaluación de la velocidad media de recorrido y porcentaje de tiempo de seguimiento con el fin de determinar el nivel de servicio y capacidad.

1.1.1.3. Ubicación Geográfica

La zona de estudio en el cual se realizó la tesis, se localiza en el departamento de Cusco, abarcando los distritos Cusco, Poroy e Izcuchaca que comprende las provincias de Cusco y Anta respectivamente como se muestra en la Figura 04, abarca el tramo de carretera comprendido entre el distrito de Cusco e Izcuchaca, la zona del estudio tiene una longitud aproximada de 16,660 km.

La ubicación geográfica media del ámbito de estudio se encuentra en la zona 18L, abarcando desde Arco Tica tica hasta la entrada al distrito de Izcuchaca.

Figura 4: Mapa de ubicación de la zona de estudio



Tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca

Fuente: Google Earth



1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Formulación del Problema General

¿Cuál es la capacidad vial y nivel de servicio según el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca?

1.1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

Problema Específico 01

¿De qué manera influye la velocidad libre en el Nivel de Servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca

Problema específico 02

¿De qué manera incide la demanda para condiciones ideales en la capacidad vial, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca?

Problema específico 03

¿De qué manera afecta el porcentaje de no adelantamiento en el nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca?

Problema específico 04

¿De qué manera influye el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSd) en el nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

La ingeniería de tránsito se encarga de estudiar la interacción de las vías, los usuarios y vehículos que se tienen en las vías principalmente. Al diseñar los carriles adicionales se tendrá como resultado “repartir el flujo vehicular en todo el tramo Arco Tica tica – Izcuchaca” en consecuencia agilizar el tránsito vehicular y crear comodidad a los usuarios, llegando a solucionar el problema del flujo vehicular, mediante el incremento de nivel de servicio de cada



tramo a analizar gracias al diseño de carril de adelantamiento se podrá mejorar el nivel de servicio del tramo.

1.2.2. Justificación social

El siguiente trabajo de investigación se justifica socialmente porque afianzará las capacidades técnicas de los ingenieros y estudiantes, que podrán conocer e implementar los conceptos de capacidad vial y nivel de servicio, según la metodología del manual de capacidad de carreteras HCM (2010).

Además de lograr ubicar los carriles adicionales y mejorar la calidad de transitabilidad de los usuarios del tramo (conductores y peatones)

1.2.3. Justificación por viabilidad

Es justificable la presente investigación debido a que los datos de campo pueden ser tomados con facilidad con los diferentes instrumentos de ingeniería.

Los materiales e instrumentos requeridos para vaciar la información obtenida en campo son de fácil acceso y bajo financiamiento, por lo cual es Viable.

Dentro de un contexto académico, es viable por la facilidad de elaborar los diferentes instrumentos de ingeniería tales como

- ❖ Formatos de conteo vehicular
- ❖ Formatos de recolección de velocidad (mediante uso de radar de bushnell)
- ❖ Guías de observación de campo
- ❖ Tabla de factor de ajuste por tipo de terreno y vehículo pesado
- ❖ Cuadro de coordenadas UTM
- ❖ Cuadro de perfil longitudinal, ZNA (zona de no adelantamiento) y tipo de terreno
- ❖ Cuadro de criterios de nivel de servicio para carretera de dos carriles

Dentro de un contexto de aporte social, es viable solucionar el alto flujo vehicular de la zona. Mediante la elaboración de diseño de propuestas tales como carriles de adelantamiento para vehículos, de esta manera aumentar el nivel de servicio del tramo a estudiar y analizar en consecuencia beneficiará de dos formas:

- ❖ Mejorará la transitabilidad vehicular del tramo de carretera en estudio.
- ❖ La información que se recopila será de libre disponibilidad para los profesionales y estudiantes de ingeniería.



Dentro de un contexto técnico es viable, por la disposición del HCM 2010 para el uso y elaboración de todas las hojas de cálculo pertinentes que validaran nuestra tesis.

1.2.4. Justificación por relevancia

En lo que se refiere a la justificación por relevancia, debido a que la presente investigación trabaja con datos reales obtenidos en campo, las diferentes variables a utilizar y el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), toda la información obtenida revelará la condición real en la que se encuentra el tramo de carretera en estudio y podrá ser utilizado con el fin de plantear diversas propuestas que nos ayuden a evitar embotellamientos o pelotones vehiculares que limitan la capacidad de la carretera.

Por otro lado, también es relevante ya que puede servir como base para futuras investigaciones referidos a este tema.

1.3. Limitaciones de la investigación

- ❖ Limitación geográfica: El tramo de carretera está comprendido desde el Arco Tica Tica hasta Izcuchaca abarcando los distritos de Cusco, Poroy e Izcuchaca entre las provincias de Cusco y Anta respectivamente obteniendo una longitud aproximada de 16.660 km.
- ❖ Demanda real, puesto que es un indicador para el cálculo de nivel de servicio y capacidad vial.
- ❖ Se limita a datos obtenidos con los instrumentos GPS, pistola de velocidad (radar de Bushnell).
- ❖ En lo que se refiere a las pendientes longitudinales del tramo de carretera, se utilizó datos del levantamiento topográfico con estación total, GPS navegador y la herramienta de Google Earth.
- ❖ Respecto a la obtención de la velocidad media de la Muestra (VMM), en cada tipo de terreno se consideró 110 vehículos que circulen a flujo libre sin la intervención de dispositivos reductores de velocidad, sin cruces de puentes y en condiciones climáticas favorables.
- ❖ No existen estudios locales ni nacionales similares en dicho tramo de carretera (Determinación de nivel de servicio según el Manual HCM 2010).



1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la capacidad vial y nivel de servicio en función de la velocidad media de recorrido (VMR) y porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS) basado en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca

1.4.2. Objetivos Específicos

1.4.2.1. Objetivo Específico 01

Identificar de qué manera influye la velocidad libre en nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca

1.4.2.2. Objetivo Específico 02

Determinar de qué manera incide la demanda para condiciones ideales en la capacidad, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca

1.4.2.3. Objetivo Específico 03

Identificar de qué manera afecta el porcentaje de no adelantamiento en nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca

1.4.2.4. Objetivo Específico 04

Determinar de qué manera influye el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSd) en el nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la tesis

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

2.1.1.1. Universidad Andina del Cusco

Autor: Evelyn Callo Ccorimanya y Derli Reyg Tito Quispe

Universidad: *Universidad Andina del Cusco*

Año: *abril 2018*

País: *Cusco - Perú*

Título: "Evaluación de la capacidad y nivel de servicio aplicando el Manual de Carreteras (HCM) versión 2010 y la incidencia de la serviciabilidad (psi) de la carretera nacional pe-3s tramo Urcos-Sicuani".

Resumen:

- En los últimos años la demanda del tránsito vehicular en el tramo Urcos – Sicuani (89 km) incrementó debido a la construcción de la carretera interoceánica, transporte de pasajeros y a las actividades económicas; afectando a la capacidad vial, nivel de servicio y a la serviciabilidad.
- La presente investigación tubo objetivo evaluar la problemática antes descrita con el fin de mejorar la transitabilidad de la carretera comprendida entre los distritos de Urcos a Sicuani siendo este un tramo importante de la Red Vial Nacional Sur (PE-3S); para lo cual se sectorizó el tramo en ocho partes según sus características geométricas y tránsito vehicular.
- Para la presente investigación se ha aplicado las metodologías de HIGHWAY CAPACITY MANUAL (Versión 2010), para evaluar la capacidad y nivel de servicio, y el Manual del Usuario MERLINER para evaluar la serviciabilidad.
- Se observó que la capacidad se reduce debido a las características geométricas como el incremento del porcentaje de zonas de no rebase aumentando el tiempo de seguimiento.
- Los resultados de los análisis para cada sector reflejan distintas realidades de acuerdo a las características de tránsito y geométricas presentes en cada sector. Uno de los casos más relevantes es el sector I (Urcos - Desvío Interoceánica) en donde se presenta un nivel de servicio E y una considerable reducción de la capacidad vial debido a que el diseño geométrico se ve limitado por ser un terreno ondulado con una pendiente promedio de 6.4%, presentando curvas en menos de 200 metros longitudinales, impidiendo las maniobras para adelantamiento además de la presencia de vehículos de alto tonelaje generándose así,



pelotones o trenes de vehículos. El tramo estudiado presenta un IRI promedio de 2.96 presentando un PSI “Regular”.

- Se recomienda el uso de un tercer carril en los sectores evaluados con el objetivo de mejorar la capacidad y el nivel de servicio.
- Palabras clave: Capacidad, Nivel de Servicio, Serviciabilidad, Red vial, Características geométricas, Orografía.

2.1.1.2. Universidad Andina del Cusco

Autor: *Jhosep Alexander Vega Quispe, Jorge Arturo Rivas Huaman*

Universidad: *Universidad Andina del Cusco*

Año: *2017*

País: *Cusco - Perú*

Título: *“Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio según la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2010) en las intersecciones semaforizadas de la avenida cultura-tramo: jirón cahueide- calle urbanización Santa Úrsula, en la ciudad del cusco”*

Resumen:

- En la ciudad del Cusco, en la avenida de la Cultura, está localizada una zona conformada por centros comerciales, supermercados, instituciones educativas, los cuales son los principales generadores de viajes que son la principal causa de congestión en las intersecciones.
- La siguiente investigación fue orientada al estudio de la capacidad vial y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de un tramo importante de la av. De la cultura conformado por 7 intersecciones que son muestra del estudio.
- Para esta investigación se ha aplicado la metodología del HCM 2010, debido a la carencia de una norma nacional. Se han considerado cada uno de los lineamientos y procesos de este manual por lo cual ha podido diferir contra un estudio realizado con las normas viales vigentes en Perú o ampliar dichas investigaciones previas. La metodología se ha aplicado a cada una de las intersecciones en estudio, reflejando los bajos niveles de servicio que se perciben diariamente, sobre todo en horas de la noche, donde existen congestiones prolongadas. También se ha reflejado la poca capacidad o capacidades sobrepasadas de algunas viales secundarias dentro de las intersecciones que afectan al comportamiento adecuado de la intersección misma.

**Conclusiones:**

- Se concluye que la aproximación de la calle urb. Santa Úrsula (hacia el norte) tiene una capacidad vial de 485.22 veh/h/carril y con relación al volumen vehicular existente tiene un funcionamiento óptimo, con un nivel de servicio B, en la av. De la cultura aproximación (hacia el este) se encuentra de igual forma un funcionamiento óptimo con una capacidad de 1400.34 veh/h/carril para el movimiento recto y del carril compartido y con un giro a la derecha de 187 veh/h/carril ambos con un nivel de servicio B.
- Del análisis de cada una de las aproximaciones de manera independiente se concluye que la capacidad de la av. Cultura es suficiente para el volumen vehicular ya que la relación volumen-capacidad no rebasa el 50 % en general, pero se tienen vías secundarias transversales que tienen una capacidad insuficiente que algunos pasan el 100 % de la capacidad.
- En la av. De la cultura dentro de las características de la vía se concluye que la ubicación de los paraderos no es adecuada debido a que no tienen su propio espacio de detención invadiendo el carril paralelo al paradero, generando bloqueo hasta dos carriles en horas punta.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional**2.1.2.1. Universidad de San Carlos de Guatemala**

Autor: Raúl Iván Palma Álvarez

Universidad: *Universidad de San Carlos de Guatemala*

Año: *marzo 2006*

País: *Guatemala*

Título: “Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) versión 2000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles”

Resumen:

- El objetivo del proyecto es ampliar el conocimiento de las técnicas de evaluación del Nivel de servicio de carreteras, como parte de la Ingeniería de Tránsito en Guatemala, así como aportar recursos de diseño a los cursos del Departamento de Transporte.
- El proyecto se realizó en el tramo Agua Caliente hacia el desvío a Sanarate, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 29 al kilómetro 52; y en el tramo correspondiente al desvío de Sanarate hacia Agua Caliente, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 52 al kilómetro 23.



- Como base normativa se utilizó el MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000 en carreteras de dos carriles.
- En primer lugar, se debe determinar la velocidad de flujo libre (FFS), la cual es hallada en campo, esta depende básicamente de la velocidad principal de tránsito medida en campo (km/h), el volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo (veh/h) y el factor de ajuste de vehículos pesados.
- Para determinar la demanda de razón de flujo, tres ajustes deben ser hechos a la demanda del volumen horario, estos ajustes son el FHP, el factor de ajuste debido al porcentaje de pendiente de la carretera y el factor de ajuste debido a los vehículos pesados.
- El factor de ajuste para vehículos pesados se halla de acuerdo a la Proporción de camiones en el tránsito, expresado en decimal (PT), la Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, expresado en decimal (PR), Equivalente del número de vehículos por camión (ET), Equivalente del número de vehículos por vehículo recreacional (ER).
- Otro dato importante a considerar es la velocidad promedio de viaje la cual es estimada de la velocidad de flujo libre (FFS), de la demanda de razón de flujo, la razón de flujo en dirección opuesta y de un factor de ajuste para el porcentaje de las zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis.
- Antes de entrar a la tabla (criterio de LOS para carreteras de dos carriles) la cual nos sirve para hallar el nivel de servicio, se debe determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo (PTSFd). Este porcentaje es estimado de la demanda de razón de flujo, la razón de flujo opuesta y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis.
- Por ultimo para determinar el LOS (nivel de servicio) se compara el equivalente de la razón de flujo de vehículos livianos (V_p) con la capacidad máxima de la carretera, 3,200 veh/hr. Si V_p es mayor que la capacidad, entonces la carretera esta sobresaturada y el LOS es F. Similarmente ocurre para cada dirección, si el V_d es mayor que 1,700 veh/hr, entonces el LOS es F. En el LOS F, el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo es cercano al 100% y la velocidad es bastante variable y difícil de estimar.



Conclusiones

- A partir del estudio realizado para hallar el nivel de servicio en una carretera de dos carriles, se concluye lo siguiente:
- El porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje, son las unidades que definen el nivel de servicio en una carretera.
- Para los análisis operacionales en las carreteras se debe usar la hora pico como base del análisis, ya que, es la hora en la que la razón de flujo es más alta, siendo el período más crítico; además se debe tomar en cuenta la velocidad promedio de viaje como la velocidad de análisis.
- Para que la capacidad de una carretera no se vea afectada, se debe tomar en cuenta para el diseño de carreteras que los hombros y los carriles deben ser bastante anchos, para que los conductores manejen con más libertad, evitando así demoras en el viaje.
- Si el flujo vehicular en una carretera es bajo, pero el flujo de vehículos pesados es bastante alto, arriba del 30 %, el nivel de servicio de una carretera se ve afectado debido a que se incrementa la demora y baja la velocidad promedio de viaje.

2.1.2.2. Universidad Técnica Particular de Loja

Autor: Martínez Aldeán, Diego Fernando.

Universidad: Universidad Técnica Particular De Loja

Año: 2014

País: Loja – Ecuador

Título: “Análisis de la capacidad y nivel de servicio de la vía loja - vilcabamba (tramo de estudio loja - landangui) aplicando la metodología del HCM 2000”.

Resumen:

- El objetivo de la tesis es determinar el nivel de servicio y capacidad de la vía Loja – Vilcabamba en el tramo Loja – Landangui, compilando la información existente y faltante para el desarrollo del objeto en estudio. Se aplicó la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual 2000.
- Dicha vía presenta una gran cantidad de flujo vehicular debido a que son unos de los principales puntos de atracción turística de la provincia de Loja.
- Para determinar el Nivel de Servicio de dicho tramo de carretera se consideraron datos como aforo vehicular, aforo de velocidades, porcentaje de buses y camiones, porcentaje de

vehículos de recreación, factor de hora pico, tipo de terreno, dimensión de los espaldones, porcentajes de zonas de no rebasamiento, velocidad de flujo libre, ancho de carril, longitud total del tramo de estudio, densidad de acceso por kilómetro.

- Algunos de los parámetros mencionados anteriormente fueron calculados mediante el uso de hojas Excel aplicando las ecuaciones correspondientes.
- Finalmente, con los datos obtenidos se determina el nivel de servicio del tramo de vía mediante el uso de la tabla Niveles de Servicio.

Conclusiones:

- El nivel de servicio que ofrece el tramo Loja – Landanguí es de Nivel C, lo que significa que la mayor parte de los conductores deberán ajustar su velocidad teniendo en cuenta la de los vehículos que les preceden, porque las posibilidades de rebasamiento son reducidas y se forman grupos de vehículos que circulan a la misma velocidad. La circulación sigue siendo estable, porque las perturbaciones debidas a los cambios de velocidad se suelen disipar sin llegar a producir una detención total.
- Si el índice de crecimiento poblacional y turístico sigue en aumento de las ciudades cercanas como son Malacatos y Vilcabamba se puede esperar que el flujo vehicular aumente y que el nivel de servicio pase del nivel C a un nivel de servicio D, si es que no se toma alguna corrección.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. Carreteras de dos carriles

Las carreteras de dos carriles son aquellas que disponen de un carril por sentido de circulación. La característica principal que las distingue respecto de otro tipo de vías de circulación ininterrumpida es que las maniobras de adelantamiento tendrán lugar en el carril destinado a la circulación en sentido contrario. Estas maniobras de adelantamiento estarán limitadas por la disponibilidad de huecos en el tráfico que circula en sentido contrario, así como por la disponibilidad de una distancia de visibilidad suficiente para que un conductor pueda percibir de forma segura la aproximación de vehículos que circulan en sentido contrario.

Debido a que la capacidad de adelantamiento disminuye según se incrementa la demanda de adelantamiento, las carreteras de dos carriles mostrarán una característica única: la calidad de la circulación disminuye – a menudo bruscamente – si la demanda se incrementa, de forma que su nivel de servicio podría llegar a resultar inaceptable incluso con ratios intensidad-capacidad relativamente bajos. Por esta razón, muy pocas carreteras de dos carriles presentarán siempre



intensidades próximas a su capacidad. En la mayoría de los casos, bajas calidades de circulación llevarán a la realización de mejoras o adecuaciones mucho antes de que se alcance su capacidad. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.1.1. Clasificación de las carreteras de dos carriles

Debido a la gran variedad de funciones que pueden desarrollar, la metodología para el modo automóvil establecerá tres categorías de carreteras de dos carriles.

Las tres clases de carreteras de dos carriles serán definidas tal y como se indica a continuación:

- Carreteras de dos carriles “clase I”: Serán aquéllas en las que los usuarios esperan poder circular a velocidades relativamente elevadas. Serán consideradas clase I las rutas interurbanas principales, las vías principales de conexión entre áreas con importante generación de tráfico, los trayectos recorridos diariamente hacia el lugar de trabajo y las vías principales de conexión pertenecientes a redes estatales o nacionales. Estas atenderán mayormente a desplazamiento de larga distancia o proporcionarán conexión entre otro tipo de vías que atiendan a este tipo de desplazamientos.
- Carreteras de dos carriles “clase II”: Son aquéllas en las que los usuarios no esperan necesariamente poder desplazarse a velocidades elevadas. Cualquier carretera de dos carriles que sirva de acceso a carreteras de clase I, que sirva como ruta de tipo paisajístico o turística (y no como vía principal), o atraviese terrenos accidentados (donde circular a una velocidad elevada resultaría imposible) será clasificada como clase II. Estas atenderán a menudo a desplazamientos de recorrido relativamente cortos, representando así mismo tramos iniciales o finales de recorridos más largos o donde los desplazamientos por ocio y el turismo jueguen un papel importante.
- Carreteras de dos carriles clase III: son aquellas que atienden a áreas con un grado de desarrollo moderado. Estas podrían corresponder a tramos de carreteras de clase I y II que discurran a través de pequeñas poblaciones o de zonas turísticas. En ellas se mezcla a menudo el tráfico de carácter local con el tráfico de paso, siendo su densidad de accesos no semaforizados claramente superior al de un área puramente rural. Una carretera de clase III podría corresponder también con tramos largos que crucen áreas turísticas extensas



dotados también con una alta densidad de accesos. Suelen presentar a menudo límites de velocidad más reducidos, circunstancia que refleja un nivel de actividad más alto.

La definición de clase está basada en la función que desempeña la carretera. Muchas carreteras de dos carriles de la red principal serán consideradas como clase I, mientras que muchas carreteras colectoras o locales serán consideradas como clase II y III. El factor principal determinante de cara a su clasificación será las expectativas de los usuarios hacia ellas, las cuales podrían no coincidir con la categoría funcional global de la ruta. Por ejemplo, una ruta interurbana de la red principal que atraviese una zona montañosa podría ser considerada como clase II si los conductores reconociesen que no resulta factible circular a una velocidad elevada debido a lo accidentado del terreno, a pesar de que la ruta completa pudiese ser considerada como clase I. (Romana, Nuñez, Martínez, & Díez de Arizaleta, 2017)

2.2.2. Tipo de terreno

2.2.2.1. Terreno llano o plano

Cualquier combinación de alineaciones horizontales y verticales que permitan un vehículo pesado circular a una velocidad similar a la desarrollada por un vehículo ligero. Normalmente contendrá rasantes de corta longitud y con inclinaciones no superiores al 2%

2.2.2.2. Terreno ondulado

Cualquier combinación de rampa/pendiente y de alineaciones horizontales y verticales que provoquen un descenso significativo en la velocidad que pueden desarrollar un vehículo pesado (respecto de un vehículo ligero), aunque sin llegar a provocar que deba circular a velocidad límite o crítica durante intervalos de tiempo prolongado o de forma frecuente.

2.2.2.3. Terreno pendiente específica

Todos aquellos tramos que presenten inclinaciones iguales o superiores a 3 % y cuya longitud sea menor a 0.25 mi



2.2.2.4. Terreno rampa específica

Todos aquellos tramos que presenten inclinaciones iguales o superiores a 3 % y cuya longitud sea igual o superior a 0.25 mi. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.3. Clasificación por tipo de vehículo

Los tipos de vehículos indicados pueden variar, y por tanto para el diseño debe emplearse, los aprobados en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010).

2.2.3.1. Vehículos ligeros

Son vehículos dotados con más de 4 ruedas en contacto con el pavimento durante su normal circulación en términos generales, así como furgonetas y pequeñas camionetas.

2.2.3.2. Vehículos pesados

Son vehículos dotados con más de 4 ruedas en contacto con el pavimento durante su normal circulación en términos generales, se define vehículo pesado como aquel que disponga más de 4 ruedas sobre el pavimento durante su normal funcionamiento.

Los vehículos pesados se clasifican en camiones y vehículos de recreo (RVs).

Camiones

La categoría camión engloba a una gran variedad de vehículos desde pequeñas camionetas -con más de cuatro ruedas- hasta composiciones dobles o triples de tipo cabeza tractora + remolque/semirremolque aquellas furgonetas y pequeñas camionetas que dispongan únicamente de cuatro ruedas serán consideradas como vehículos ligeros. Los autobuses escolares o los destinados al transporte público urbano/periurbano o al interurbano serán considerados camiones.

Vehículos de recreo (RVs).

La categoría RVs (vehículos de recreo) engloba también a una amplia gama de vehículos, entre los que se incluyen autocaravanas, motorhomes, y turismos o pequeños camiones con semirremolque. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)



2.2.4. Nivel de servicio (NS)

“Las medidas de efectividad que se utilizan para describir la calidad del servicio son la velocidad media de viaje y la demora porcentual en seguimiento.

La velocidad media de viaje refleja la movilidad, al dividir la longitud del segmento de carretera entre el tiempo medio de viaje de todos los vehículos que circulan por el segmento en ambas direcciones durante el periodo de estudio.

El porcentaje de tiempo consumido en seguimiento, representa la libertad para maniobrar y el confort y conveniencia del viaje. Es el porcentaje del tiempo total de viaje que los vehículos deben viajar en grupos, detrás (siguiendo) de los vehículos más lentos debido a la incapacidad de realizar maniobras de rebase.

El criterio para determinar el nivel de servicio, usa ambos índices de medición”.

“Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. (Rafael Cal y Mayor R., 2007)

El nivel de servicio es una medida de las condiciones de circulación, que tiene en cuenta el efecto de varios factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costes de funcionamiento. La manera de combinar estos factores depende del tipo o elemento de carretera que se está considerando por lo que la definición de cada nivel de servicio particular es distinta en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc.

Se emplean seis niveles de servicio que se designan, de mejor a peor, por las letras mayúsculas de la A a la F. (Kraemer, y otros, 2003).

Los niveles de servicio (NS) son una clasificación cuantitativa de las medidas y parámetros de circulación que caracterizan la calidad de servicio.

Aquellos parámetros de circulación elegidos –de entre todos los definidos – para establecer el NS de un elemento viario se denominarán parámetros de servicio. El HCM establece seis niveles de servicio – comprendidos desde NS A hasta NS F – para evaluar cada parámetro de servicio o para evaluar el resultado de un modelo matemático basado en múltiples parámetros de circulación. NS A representa las mejores condiciones de circulación posibles - desde la

perspectiva del usuario-, y NS F las peores. Por motivos de coste económico, impacto ambiental y otras razones, una vía no se diseña normalmente para funcionar bajo NS A durante los periodos de mayor demanda, sino más bien para un nivel inferior que refleje un término medio entre los deseos individuales de los usuarios y los intereses de la sociedad y sus recursos financieros. No obstante, durante aquellos periodos de día que presenten una baja demanda, podrá circularse por la infraestructura con un NS A. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.4.1. Uso

Los niveles de servicio son utilizados para traducir los resultados de modelos numéricos complejos a un sistema simple de clasificación de la A a la F que represente la percepción que tienen los usuarios acerca de la calidad de servicio proporcionado por una infraestructura o servicio de transporte por carretera. Estos resultados A-F resumen gran parte de la complejidad que caracteriza a la circulación. Con esto se pretende simplificar la toma de decisiones en relación a si las condiciones de circulación en una infraestructura resultan aceptables o inaceptables, o sobre la probabilidad de que una actuación en ella sea percibida de una forma significativa y generalizada por parte de sus usuarios. La nomenclatura “NS” proporciona un conjunto de definiciones que ingenieros y planificadores pueden utilizar para describir las condiciones de circulación. No obstante, la decisión de elegir el NS apropiado para un determinado tramo viario corresponderá al titular de la infraestructura o al organismo responsable de un servicio de transporte publico determinado. Una razón para la adopción generalizada del concepto de nivel de servicio es la sencillez para transmitir - a aquellas personas encargadas de la toma de decisiones que no sean técnicos – como funciona una infraestructura. No obstante, el concepto NS tiene otras fortalezas y debilidades, descritas más adelante, de las que deben ser conscientes tanto técnicos como aquellas personas encargadas de la toma de decisiones. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.4.2. Naturaleza escalonada de la función nivel de servicio

La clasificación NS es en realidad una función escalonada. Para ilustrar esta circunstancia sirva el siguiente ejemplo: un incremento medio de 12 segundos en la demora provocada en el tráfico por un semáforo podría significar seguir manteniendo un nivel de servicio dado, o la caída a un nivel inferior o incluso a dos niveles por debajo dependiendo del valor inicial de demora. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.4.3. Modo Automóvil

Debido a la gran variedad de situaciones que pueden darse en carreteras de dos carriles, la metodología de este manual incorpora tres medidas del grado de eficacia de su circulación que determinaran el NS para el modo automóvil.

- **VMR (velocidad media de recorrido):** es un reflejo de la movilidad en carretera de dos carriles. Se define como la longitud del tramo dividido por el tiempo medio de recorrido empleado por los vehículos en atravesarlo, para el periodo de análisis considerado (normalmente 15 minutos).
- **PTS (porcentaje de tiempo siguiendo ó % de demora en tiempo):** es un reflejo del grado de libertad para maniobrar, así como del confort y de la conveniencia del viaje. Es igual al porcentaje medio del tiempo en el que los vehículos deben viajar en grupo detrás de vehículos más lentos debido a la imposibilidad de adelantar. Debido a la gran dificultad que presenta medir en campo esta variable, un parámetro que podría sustituirlo sería el porcentaje de vehículos que se desplazan a intervalos de seguimiento inferiores a 3 s medidos en una localización representativa del tramo a analizar. PTS representa también el porcentaje aproximado de vehículos que se desplazan en grupo.
- **PVL, o porcentaje de la VL:** representa la capacidad de los vehículos para desplazarse a una velocidad similar a la máxima velocidad permitida (o próxima a ella).

En carreteras de clase I, la velocidad y la demora debida a las restricciones de adelantamiento representan dos parámetros importantes para los usuarios. Por eso en este tipo de carreteras el NS será definido en términos de VMR y PTS. En carreteras de clase II, la velocidad media de recorrido no representa un aspecto importante para los conductores. Por eso, el NS en ellas vendrá definido en términos de PTS únicamente. En carreteras de clase III, circular a una velocidad elevada no representa una expectativa para el usuario. Debido a que la longitud de los tramos de una carretera de clase III es generalmente limitada, las restricciones de adelantamiento no representan tampoco una preocupación importante. En este caso, los conductores desearían poder conseguir avanzar de forma continuada y constante circulando a una velocidad igual a la máxima permitida (o próxima a esta). Por este motivo, en este tipo de carreteras se utilizará PVL para definir el NS. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

De esta forma, los criterios adoptados para definir los diferentes NS en carreteras de dos carriles serán los indicados en la siguiente figura:

Tabla 1: Criterio de NS para modo automóvil en carreteras de dos carriles

NS	Carreteras dos carriles clase I		Carreteras clase II PTS (%)	Carreteras clase III PVL (%)
	VMR (mi/h // km/h)	PTS (%)		
NS A	>55 // >90	=<35	=<40	>91.7
NS B	>50-55 // >82-90	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
NS C	>45-50 // >74-80	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
NS D	>40-45 // >65-74	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
NS E	=<40 // =<65	>80	>85	=<66.7

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Resulta difícil proporcionar una definición única –para las tres clases de carreteras – de las condiciones de circulación para cada NS, ya que las expectativas de los usuarios y las características de la circulación en cada una de ellas son bastante diferentes. No obstante, hay dos aspectos que provocarán un impacto significativo en la circulación real y en la percepción de los usuarios respecto a la calidad de servicio proporcionado por estas:

- La capacidad de adelantamiento: dado que en carreteras de dos carriles las maniobras de adelantamiento se efectuarán en el carril contrario, la capacidad de adelantamiento se verá limitada por la intensidad que circule en sentido contrario, así como por la distribución de huecos libres en él.
- La demanda de adelantamiento: para un sentido de circulación dado, la demanda de adelantamiento aumentará según se incrementen el grado de agrupamiento de vehículos y PTS. Cuantos más usuarios queden atrapados en grupos detrás de vehículos más lentos, mayor será su deseo de realizar adelantamientos.

Ambos aspectos estarán relacionados con la intensidad del tráfico. Si esta aumentase en ambos sentidos a la vez se establecería una tendencia negativa: a mayor demanda de adelantamiento menor capacidad para efectuarlo.

Con NS A, en carreteras de clase I los usuarios podrán circular a una velocidad elevada experimentando pequeñas dificultades a la hora de adelantar. Grupos de 3 o más vehículos serán raros. En carreteras de clase II la velocidad dependerá principalmente de las condiciones de la calzada, de forma que podría esperarse la formación de algunos grupos. En carreteras de clase



III los usuarios deberían ser capaces de mantener una velocidad igual o próxima a la VL de la vía.

Con NS B, la demanda de adelantamiento y la capacidad de adelantamiento estarán igualadas. Tanto en carreteras clase I como clase II el grado de agrupamiento comenzará a ser apreciable. En las de clase I comenzará a notarse una reducción en la velocidad. En las de clase III mantener la VL comenzará a ser dificultoso, aunque la reducción en la velocidad será relativamente pequeña todavía.

Con NS C, muchos de los vehículos viajarán agrupados. La velocidad se reducirá notablemente en las tres clases de carreteras.

Con NS D, el agrupamiento de vehículos se acrecentará. La demanda de adelantamiento será alta tanto en clase I como en clase II, pero la capacidad de adelantamiento se aproximará a cero. Un alto porcentaje de vehículos viajará ahora en grupos, y el valor de PTS será bastante elevado. En las de clase III la reducción de la velocidad –respecto de VL- será ahora importante.

Con NS E, la demanda se acercará a la capacidad. En clase I y II los adelantamientos serán prácticamente imposibles y el valor de PTS pasará del 80%. La velocidad se verá seriamente reducida. En clase III esta será inferior a $2/3$ de VL. El umbral superior de este NS representará la capacidad.

NS F se alcanzará cuando la demanda –en uno o ambos sentidos- exceda a la capacidad del tramo. Las condiciones de circulación se volverán inestables, produciéndose saturación en las tres clases de carreteras de dos carriles. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017).

2.2.5. Calidad de servicio

La calidad de servicio describirá como funciona o funcionará un tramo de red viaria o un servicio de transporte por carretera desde el punto de vista de usuario. Podrá ser evaluada de diversas formas. Entre ellas estaría la observación directa de aquellos factores perceptibles por los usuarios y que resultan además importantes para ellos (como por ejemplo la velocidad o la demora). La realización de encuestas a usuarios, el seguimiento de las quejas o reclamaciones y elogios acerca de las condiciones de las infraestructuras, la previsión de la satisfacción del usuario mediante la utilización de modelos derivados de encuestas realizadas con anterioridad, así como la observación de medidas o servicios que no sean directamente perceptibles por parte de estos (como por ejemplo el tiempo medio en solucionar un incidente) pero que afecten a parámetros que sí pueden percibir (como por ejemplo la velocidad o la hora de llegada al trabajo).



Se ha observado que los siguientes factores podrían afectar a la percepción que el usuario experimentara acerca de la calidad de servicio:

- El tiempo de recorrido, la velocidad y la demora.
- El número de paradas o detenciones sufridas.
- La fiabilidad o exactitud de los tiempos de recorrido.
- El grado de maniobrabilidad (es decir, factibilidad o dificultad para realizar cambios de carril, el porcentaje de tiempo siguiendo, etc.).
- El grado de confort (interacciones de ciclistas y peatones con el tráfico rodado, grado de manifestación del transporte público, comodidad del desplazamiento).
- La conveniencia (por ejemplo, si una línea o itinerario es muy directa o da mucho rodeo, la frecuencia de servicio de transporte público, etc.).
- La seguridad (real o percibida).
- El coste del servicio para el usuario.
- La disponibilidad de infraestructuras y servicios.
- La estética de la infraestructura, su estado de conservación y su limpieza.
- La disponibilidad de información (por ejemplo, la existencia de suficientes señales informativas, o de información sobre líneas y horarios del transporte público).

El ámbito de aplicación del HCM (el análisis de la circulación multimodal en redes varias y vías urbanas) es más reducido que la lista anterior en relación a la calidad de servicio. Según se discutía en el capítulo 1, los documentos que acompañan a este manual están enfocados hacia la seguridad de la red viaria, su diseño y su correcta señalización e información, entre otros aspectos.

El HCM se centra particularmente en aspectos de la calidad de servicio como son los tiempos de recorrido, la velocidad, la demora, la maniobrabilidad y el confort, aunque el número de parámetros de circulación abordados en él y relacionados con algunos de los aspectos anteriormente citados es limitado. El proyecto FEDERAL STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM 2, el cual fue programado al mismo tiempo que se elaboraba este manual expone medidas relacionadas con la fiabilidad de los tiempos de recorrido que podrían ser incluidas en ediciones futuras del HCM. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)



2.2.6. Capacidad vial

La capacidad de una carretera de dos carriles bajo condiciones ideales será de 1.700 veh lig/h por sentido, con un límite máximo de 3.200 veh lig/h totales considerando ambos sentidos según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). Debido a las interacciones existentes entre ambos sentidos, cuando uno de ellos haya alcanzado su capacidad (1.700 veh lig/h), la máxima intensidad posible en sentido contrario se verá limitada a 1.500 veh lig/hora.

No obstante, en carreteras de dos carriles la condición de capacidad será raramente observada (excepto en tramos cortos). En ellas la calidad de servicio empeora mucho a partir de niveles de demanda relativamente bajas, por lo que muchas deberán ser mejoradas antes de que la demanda se aproxime a su capacidad.

No obstante, la estimación de las condiciones de capacidad resulta importante a la hora de elaborar planes de evacuación, de planificar eventos especiales, así como para evaluar el impacto producido corriente debajo de incidentes que generen cuellos de botella, una vez que estos cuellos de botella se hayan eliminado.

En carreteras de dos carriles podrán observarse intensidades superiores a 3.400 veh lig/h en tramos cortos alimentados por una elevada demanda procedente de vías desdobladas. Esto podría suceder en túneles o puentes, por ejemplo, aunque tal grado de intensidad no podría esperarse a lo largo de tramos extensos. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura se considera como una cantidad conocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda, es su capacidad u oferta.

Aparte del estudio de la capacidad de carreteras y calles, es propósito que también generalmente se sigue, es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de arteria.

Según el autor el capítulo 10 en el HCM 2010, teóricamente la capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.



El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que este es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. (Rafael Cal y Mayor Reyes Espindola, 1994)

La capacidad de una carretera de dos carriles es de 1700 vehículos de pasajeros por hora (veh/h) para cada sentido de viaje, y es casi independiente de la distribución direccionada del tránsito. Para tramos prolongados la capacidad de una carretera de dos carriles no excede a un total combinado de 3200 veh/h. en las secciones cortas de las carreteras de dos carriles tales como un túnel o un puente puede alcanzar una capacidad de 3200 a 3400 veh/h. (Garber & Hoel, 2005)

2.2.7. Pasos de cálculo de nivel de servicio y capacidad vial

2.2.7.1. PASO 01: Datos de partida

Mediante este paso se recolectará la información de la que deberá disponerse antes de poder comenzar el análisis de un tramo de carretera de dos carriles. En ella se muestran así mismos valores predeterminados recomendados a utilizar en el caso de que no se disponga de información específica de la localización a analizar. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.7.2. PASO 02: Determinación de velocidad libre (VL)

Un aspecto fundamental en el análisis será determinar la VL del tramo bajo estudio. Existen tres formas de hacerlo.

- **Mediante observación directa en carretera**

Las observaciones deberán realizarse únicamente en el sentido analizado. En el caso de que vayan a analizarse ambos, deberán realizarse mediciones separadas en cada uno de ellos. Cada observación realizada deberá basarse en una muestra aleatoria de velocidades individuales de – al menos- 100 vehículos. VL podrá determinarse directamente como la velocidad media desarrollada por los vehículos bajo unas condiciones de baja demanda, es decir, con una intensidad total inferior a 200 veh/h (considerando ambos sentidos).

Si en un tramo concreto no pudiese llevarse a cabo una observación directa, podrían utilizarse mediciones tomadas en infraestructuras similares (misma clase de carretera, similar velocidad máxima permitida y similares condiciones ambientales, etc.).

- **Mediante medición en campo con altas intensidades de tráfico**

En algunas carreteras podría resultar muy difícil o imposible observar intensidades totales inferiores a 200 veh/h. En estos casos podría tomarse una muestra de velocidad con alta intensidad de tráfico y ajustarse adecuadamente (teniendo en cuenta esta circunstancia). El planteamiento sería similar, es decir, se observará cada sentido por separado, incluyendo en cada uno de ellos al menos 100 muestras de velocidades. La velocidad media observada será entonces ajustada utilizando la ecuación:

Ecuación 01:

$$VL = V_{MM} + 0,00776 * \left(\frac{I}{f_{VP,VMR}} \right)$$

Donde:

- ❖ VL = velocidad libre, en mi/h.
- ❖ VMM = velocidad media de la muestra (con $I > 200$ veh/h), en mi/h.
- ❖ I = intensidad total (considerando ambos sentidos) durante el periodo en el que se haya tomado la muestra de velocidades (en veh/h); y
- ❖ $f_{VP,VMR}$ = factor de ajuste por vehículos pesados para determinar VMR, calculado mediante la *Ecuación 04 ó 05*.

- **Mediante estimación**

La Velocidad Libre (VL) podrá estimarse indirectamente en el caso de que no se disponga de datos de campo. Esto representa un desafío importante en carreteras de dos carriles respecto de otros tipos de vías con circulación ininterrumpida. La velocidad libre en carreteras de dos carriles presenta un amplio rango de valores, desde 45 mi/h a 70 mi/h e incluso superiores. Para estimarla, el proyectista deberá caracterizar las condiciones de circulación de la infraestructura en términos de velocidad libre básica de modo que reflejen tanto la naturaleza del tráfico como el trazado de la carretera. Desafortunadamente, solo pueden proporcionarse pequeños consejos



de cara a estimar dicha velocidad libre básica debido al amplio rango de velocidades que pueden darse y a la importancia de factores de tipo local y regional que influyen la velocidad a la que los conductores desearían circular-.

Podrán realizarse estimaciones de velocidad libre básica partiendo de datos de velocidades y del conocimiento de las condiciones de circulación existentes en infraestructuras similares. Según se verá más adelante, para estimar la velocidad libre una vez determinada la velocidad libre básica se aplicará sobre esta última una serie de factores de ajuste relacionados con el ancho de carril/arcén y con la densidad de accesos no semaforizados. Conceptualmente, velocidad libre básica correspondería a la velocidad que podría esperarse con un diseño de la infraestructura (de sus alineaciones horizontales y verticales) en el que se utilicen anchos estándar de carriles y arcenes y en el que no existiesen accesos en sus márgenes. Por lo tanto, la velocidad de proyecto de la infraestructura podría equivaler a una estimación aceptable de velocidad libre básica, ya que esta última se basaba fundamentalmente en el efecto de las alineaciones horizontales y verticales de una carretera. Los límites máximos de velocidad permitidos podrían no relejar las condiciones actuales o el deseo de los conductores. Podría obtenerse una estimación aproximada aumentando la velocidad máxima permitida en 10 mi/h. Una vez determinada velocidad libre básica, podrá estimarse velocidad libre de la forma siguiente:

Ecuación 02

$$VL = VLB - f_{ao} - f_{DA}$$

Donde:

- ❖ VL= velocidad libre, en mi/h
- ❖ VLB= velocidad libre básica, en mi/h
- ❖ fao= factor de ajuste por ancho de carril y arcén, en mi/h; y
- ❖ fDA= factor de ajuste por densidad de accesos considerando ambos sentidos, en accesos/mi.

Cuando vayan a realizarse observaciones en campo para estimar velocidad libre, deberán emplearse planteamientos habituales o estándar y técnicas de muestreo.

Puede obtenerse más información acerca de cómo llevar a cabo estudios sobre la velocidad en los distintos textos existentes sobre ingeniería de tráfico, así como en otras publicaciones.

La figura 5 (anchos de carril y arcén) y la figura 6 (densidad de accesos) proporcionan valores para los factores de ajuste utilizados en la *Ecuación 02*

Figura 5: Factor de ajuste por ancho de carril y arcén, *f_{ao}*

Ancho de carril (pies)	Ancho de arcén (pies)			
	≥ 0 < 2	≥ 2 < 4	≥ 4 < 6	≥ 6
≥ 9 < 10	6,4	4,8	3,5	2,2
≥ 10 < 11	5,3	3,7	2,4	1,1
≥ 11 < 12	4,7	3,0	1,7	0,4
≥ 12	4,2	2,6	1,3	0,0

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Figura 6: factor de ajuste por densidad de accesos en ambos sentidos, *f_{DA}*

Accesos por milla (ambos sentidos)	Disminución en la VL (mi/h)
0	0,0
10	2,5
20	5,0
30	7,5
40	10,0

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

La densidad de accesos se calculará dividiendo el número total de intersecciones no semaforizadas y accesos para vehículos a garajes, viviendas, etc. –existentes en ambos márgenes de la carretera- entre la longitud del tramo expresada en millas. De esta forma, considerando ambos sentidos a la hora de estimar velocidad libre obtendremos un valor de esta que será igual para ambos sentidos. Si velocidad libre se midiera en la carretera podrían obtenerse valores diferentes para cada sentido. Si una carretera presentase alineaciones curvas bruscas en planta con velocidades de proyecto sustancialmente más bajas que la del resto del tramo, podría ser deseable determinar la velocidad libre de forma separada para estas alineaciones curvas por un lado y para las alineaciones rectas por otro, y calcular posteriormente la media ponderada para el conjunto del tramo.

Los datos de velocidad libre presentados en este capítulo tendrán en cuenta tanto a conductores habituales que conocen la infraestructura como a no habituales.

En cualquier caso, no se han observado diferencias significativas entre ambos. No obstante, siempre sería de esperar que un conductor habitual hiciese un uso más eficiente que conductores no habituales pertenecientes a tráficos de tipo turístico o de ocio, por ejemplo. Cuando el efecto del conocimiento de la infraestructura por parte de los conductores sea un aspecto de especial preocupación, la velocidad libre deberá medirse directamente sobre ella. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.2.7.3. PASO 03: Ajuste de la demanda (para determinar la velocidad media de recorrido VMR)

Este paso se aplicará únicamente en carreteras de clase I y III. En carreteras de clase II los NS no están basados en VMR, por lo que este paso no será de aplicación en ellas.

La demanda en ambos sentidos de circulación – tanto el que está siendo analizado como el contrario- en la hora de referencia será un dato conocido (para condiciones reales). A partir de ella deberá estimarse la demanda en el periodo de análisis (normalmente los 15 minutos más cargados dentro de ella) para condiciones ideales, mediante la **Ecuación 03**:

Ecuación 03

$$I_{ci,i,VMR} = \frac{I_{H,r,i}}{FHP * f_{t,VMR} * f_{VP,VMR}}$$

Dónde:

- ❖ $I_{ci,i,VMR}$: demanda en el periodo de análisis para condiciones ideales, correspondiente al sentido i (para determinar VMR) (veh lig/h)
- ❖ i = d (sentido directo, el que está siendo analizado)
- ❖ $I_{H,r,i}$ = demanda en la hora de referencia para condiciones reales correspondiente al sentido i (veh/h)
- ❖ $f_{t,VMR}$ = factor de ajuste por tipo de terreno (para determinar VMR), cuyos valores se proporcionan en las **Figuras 07 y Tabla 02**.
- ❖ $f_{VP,VMR}$ = factor de ajuste por vehículos pesados (para determinar VMR), que se obtendrá aplicando la **Ecuación 04 o la 05**.

Factor de Hora Punta (FHP)

El factor de hora punta (FHP) refleja la variación en el tráfico producida dentro de la hora de referencia. En carreteras de dos carriles, el periodo de análisis elegido –por considerarse más adecuado- serán los 15 minutos más cargados dentro de dicha hora de referencia (la cual corresponderá normalmente –aunque no necesariamente- con una hora punta). Si la demanda en este periodo se mide directamente en la carretera, el valor de FHP a utilizar en la *Ecuación 4* debe ser igual a 1.

Factor de ajuste por tipo de terreno ft, VMR (para determinar VMR)

El factor de ajuste ft, VMR dependerá del tipo de terreno. Se definirán factores de ajuste para:

- Tramos largos (≥ 2 mi) que discurran sobre terreno llano.
- Tramos largos (≥ 2 mi) sobre terreno ondulado.
- Rampas \uparrow específicas.
- Pendientes \downarrow específicas.

Cualquier rasante con una inclinación del 3% o superior o una longitud igual o superior a 0,6 mi deberá ser analizada como una rampa/pendiente específica (dependiendo del sentido que se esté considerado). No obstante, inclinaciones del 3% o superiores podrían ser analizadas como rampas/pendientes específicas a partir de longitudes iguales o superiores a 0.25 mi. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017).

La **Figura 07** muestra el factor de ajuste a aplicar en tramos que discurran sobre terrenos llanos u ondulados o presenten rampas/pendientes específicas. En ella se entrará con el valor de demanda en el periodo de análisis para el sentido considerado, I_{vph} expresada en vehículos/hora (para condiciones reales).

Figura 7: Factor de ajuste por tipo de terreno (ft, VMR). Terrenos llanos, ondulados y pendientes, específicos

Demanda en el periodo de análisis para el sentido considerado I_{vph} (Veh/h)	Factor de ajuste ft,VMR	
	Terreno llano y pendientes específicas	Terreno ondulado
≤ 100	1.00	0.67
200	1.00	0.75
300	1.00	0.83
400	1.00	0.90
500	1.00	0.95
600	1.00	0.97
700	1.00	0.98

Demanda en el periodo de análisis para el sentido considerado lvph (Veh/h)	Factor de ajuste ft,VMR	
	Terreno llano y pendientes específicas	Terreno ondulado
800	1.00	0.99
≥ 900	1.00	1.00

Nota: se recomienda la interpolación hacia el valor más próximo a 0.01

(Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010)

Nótese que el valor del ajuste para terreno llano será igual a 1.00 puesto que un terreno llano es uno de los requisitos que definen las condiciones consideradas como ideales. A efectos de ajuste relacionados con la inclinación del terreno, las pendientes | específicas tendrán la misma consideración que los terrenos llanos.

La **Tabla 02** muestra valores de ajuste para rampas específicas. En carreteras de dos carriles, el impacto negativo de estas sobre la velocidad aumenta conforme mayor sea su inclinación y longitud. Disminuirá sin embargo según se incremente la demanda. Demandas más elevadas conllevaran velocidades de circulación más bajas, circunstancias que provocara que el impacto de la rampa será menos intenso.

Factor de ajuste por vehículos pesados (para determinar VMR)

Las condiciones ideales para carreteras de dos carriles incluyen el hecho de que el 100 % del tráfico este formado por vehículos ligeros. Esto es difícil que suceda, por lo que la presencia de vehículos pesados reducirá la VMR.

En términos generales, se define vehículo pesado como aquel que disponga, de más de 4 ruedas sobre el pavimento durante su normal funcionamiento.

Los vehículos pesados se clasifican en camiones y vehículos de recreo (RVs). La categoría camión engloba a una gran variedad de vehículos, desde pequeñas camionetas - con más de 4 ruedas- hasta composiciones doble o triples de tipo cabeza tractora + remolque/semirremolque. Aquellas furgonetas y pequeñas camionetas que dispongan únicamente de cuatro ruedas serán consideradas como vehículos ligeros. Los autobuses escolares o los destinados al transporte público urbano/periurbano serán considerados camiones. La categoría RVs (vehículos de recreo) engloba también a una amplia gama de vehículos, entre los que incluyen autocaravanas y turismo o pequeños camiones con semirremolque.

Tabla 2: Factor de ajuste por tipo de terreno (ft, VMR). Rampas ↑ específicas

Grado de inclinación (%)	Longitud de la rampa (mi)	Demanda en el sentido analizado en el periodo de análisis lvph (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≥ 3 < 3.5	0.25	0.78	0.84	0.87	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.75	0.73	0.81	0.85	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	0.73	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.50	0.73	0.79	0.83	0.87	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
	2.00	0.73	0.79	0.82	0.86	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00
	3.00	0.73	0.78	0.82	0.85	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98
	≥ 4.00	0.73	0.78	0.81	0.85	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96
≥ 3.5 < 4.5	0.25	0.75	0.83	0.86	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.72	0.80	0.84	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.75	0.67	0.77	0.81	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	0.65	0.73	0.77	0.81	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	1.50	0.63	0.72	0.76	0.80	0.93	0.95	0.96	1.00	1.00
	2.00	0.62	0.70	0.74	0.79	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	3.00	0.61	0.69	0.74	0.78	0.92	0.93	0.94	0.98	1.00
	≥ 4.00	0.61	0.69	0.73	0.78	0.91	0.91	0.92	0.96	1.00
≥ 4.5 < 5.5	0.25	0.71	0.79	0.83	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.50	0.60	0.70	0.74	0.79	0.94	0.95	0.97	1.00	1.00
	0.75	0.55	0.65	0.70	0.75	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	1.00	0.54	0.64	0.69	0.74	0.91	0.93	0.95	1.00	1.00
	1.50	0.52	0.62	0.67	0.72	0.88	0.90	0.93	1.00	1.00
	2.00	0.51	0.61	0.66	0.71	0.87	0.89	0.92	0.99	1.00
	3.00	0.51	0.61	0.65	0.70	0.86	0.88	0.91	0.98	0.99
	≥ 4.00	0.51	0.60	0.65	0.69	0.84	0.86	0.88	0.95	0.97
≥ 5.5 < 6.5	0.25	0.57	0.68	0.72	0.77	0.93	0.94	0.96	1.00	1.00
	0.50	0.52	0.62	0.66	0.71	0.87	0.90	0.92	1.00	1.00
	0.75	0.49	0.57	0.62	0.68	0.85	0.88	0.90	1.00	1.00
	1.00	0.46	0.56	0.60	0.65	0.82	0.85	0.88	1.00	1.00
	1.50	0.44	0.54	0.59	0.64	0.81	0.84	0.87	0.98	1.00
	2.00	0.43	0.53	0.58	0.63	0.81	0.83	0.86	0.97	0.99
	3.00	0.41	0.51	0.56	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
	≥ 4.00	0.40	0.50	0.55	0.61	0.79	0.82	0.85	0.97	0.99
≥ 6.5	0.25	0.54	0.64	0.68	0.73	0.88	0.90	0.92	1.00	1.00
	0.50	0.43	0.53	0.57	0.62	0.79	0.82	0.85	0.98	1.00
	0.75	0.39	0.49	0.54	0.59	0.77	0.80	0.83	0.96	1.00
	1.00	0.37	0.45	0.50	0.54	0.74	0.77	0.81	0.96	1.00
	1.50	0.35	0.45	0.49	0.54	0.71	0.75	0.79	0.96	1.00
	2.00	0.34	0.44	0.48	0.53	0.71	0.74	0.78	0.94	0.99
	3.00	0.34	0.44	0.48	0.53	0.70	0.73	0.77	0.93	0.98
	≥ 4.00	0.33	0.43	0.47	0.52	0.70	0.73	0.77	0.91	0.95

Nota: Se permite una interpolación lineal de ft, VMR hacia el 0.1 mas próximo, tomando la longitud o el grado de inclinación y la demanda en el periodo de análisis.

(Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010)

Figura 8: Vehículos ligeros equivalentes a camiones (E_c) y RVs (E_r) en terrenos llanos, ondulados y en pendientes \downarrow específicas

tipo de vehículo	demanda en el periodo de análisis para el sentido considerado lvph (Veh/h)	terreno llano y pendientes \downarrow específicas	terreno ondulado
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
RVs, E_r	cualquier intensidad	1.0	1.1

Nota: se recomienda interpolar hacia el valor más próximo a 0.1

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Determinar el factor de ajuste por vehículos pesados es un proceso que conlleva dos pasos:

1. Se determinarán los vehículos ligeros equivalentes a camiones (E_c) y RVs (E_r) para condiciones reales.
2. A partir del número de vehículos ligeros equivalentes, se calculará el factor de ajuste por vehículos pesados mediante la **Ecuación 04**:

Ecuación 04

$$f_{VP,VMR} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1) + P_r(E_r - 1)}$$

Dónde:

- ❖ $f_{VP,VMR}$ = Factor de ajuste por vehículos pesados (para determinar VMR)
- ❖ P_c = proporción de camiones existentes en la corriente de tráfico (un decimal)
- ❖ P_r = proporción de RVs existente en la corriente de tráfico (un decimal)
- ❖ E_c = vehículos ligeros equivalentes a camiones, tomado de la **Figura 08** o **Tabla 03**; y
- ❖ E_r = vehículos ligeros equivalentes a RVs, tomado de la **Figura 08** o **Tabla 04**.



El número de vehículos ligeros equivalentes será igual al número de vehículos ligeros que consumirían la misma capacidad que un camión o un RVS. Se determinarán en las siguientes situaciones:

- ❖ Tramos que discurran por terrenos llanos u ondulados.
- ❖ Rampas \uparrow específicas
- ❖ Pendientes \downarrow específicas

La **Figura 08** muestra equivalencias en vehículos ligeros para camiones RVS en tramos que discurran por terrenos generales y en pendientes \downarrow específicas, las cuales serán tratadas en muchos casos como si se tratase de un terreno llano. En la siguiente sección se proporciona un procedimiento especial para evaluar aquellas pendientes \downarrow específicas en las que un número significativo de camiones se vea obligado a reducir su velocidad hasta alcanzar la velocidad límite que le permita mantener el control.

Las **Tabla 03** y **Tabla 04** proporcionan equivalencias en vehículos ligeros para camiones y RVS en rampas \uparrow específicas.

Vehículos ligeros equivalentes a camiones en pendientes \downarrow específicas que obliguen a circular a velocidad límite.

Según se indicaba anteriormente, cualquier pendiente del 3% o superior y una longitud igual o superior a 0,6 mi debe ser analizada como una pendiente específica. Si presenta varias rasantes con diferentes pendientes, debería ser analizada como una pendiente compuesta empleando su inclinación media, que se calculará dividiendo el desnivel total entre la longitud total, expresando el resultado en forma de porcentaje.

Para los propósitos del análisis, en muchos casos, las pendientes específicas serán tratadas del mismo modo que un terreno llano. No obstante, algunas de ellas son lo suficientemente pronunciadas como para obligar a algunos vehículos pesados a circular a velocidad límite. En tales casos, estos se verán obligados a circular en marchas cortas de forma que el freno motor sea eficaz, puesto que el sistema normal de freno podría no resultar suficiente para reducir la marcha o detener por completo un vehículo pesado, corriendo el riesgo de tomar demasiada velocidad. No hay pautas generales para identificar cuándo o dónde pueden sufrirse estas situaciones, salvo la observación directa del funcionamiento de estos vehículos pesados.

Tabla 3: Vehículos Ligeros Equivalentes a Camiones (Ec) en Rampas ↑ Especificas (para determinar VMR).

Grado de inclinación (%)	Longitud de la rampa (mi)	Demanda en el periodo de análisis en el sentido analizado Ivph (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≥ 3 < 3.5	0.25	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.8	1.7	1.7	1.1
	0.50	3.7	3.4	3.3	3.2	2.7	2.6	2.6	2.6	2.0
	0.75	4.6	4.4	4.3	4.2	3.7	3.6	3.4	3.4	1.9
	1.00	5.2	5.0	4.9	4.9	4.4	4.2	4.1	4.1	1.6
	1.50	6.2	6.0	5.9	5.8	5.3	5.0	4.8	4.8	2.9
	2.00	7.3	6.9	6.7	6.5	5.7	5.5	5.3	5.3	3.5
	3.00	8.4	8.0	7.7	7.5	6.5	6.2	6.0	6.0	3.9
	≥ 4.00	9.4	8.8	8.6	8.3	7.2	6.9	6.6	6.6	3.7
≥ 3.5 < 4.5	0.25	3.8	3.4	3.2	3.0	2.3	2.2	2.2	1.7	1.5
	0.50	5.5	5.3	5.1	5.0	4.4	4.2	4.0	2.8	2.2
	0.75	6.5	6.4	6.5	6.5	6.3	5.9	5.6	3.6	2.6
	1.00	7.9	7.6	7.4	7.3	6.7	6.6	6.4	5.3	4.7
	1.50	9.6	9.2	9.0	8.9	8.1	7.9	7.7	6.5	5.9
	2.00	10.3	10.1	10.0	9.9	9.4	9.1	8.9	7.4	6.7
	3.00	11.4	11.3	11.2	11.2	10.7	10.3	10.0	8.0	7.0
	≥ 4.00	12.4	12.2	12.2	12.1	11.5	11.2	10.8	8.6	7.5
≥ 4.5 < 5.5	0.25	4.4	4.0	3.7	3.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5
	0.50	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.7	5.6	4.6	4.2
	0.75	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	1.00	9.2	9.2	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0	8.9	8.8
	1.50	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.4	10.4	10.2	10.1
	2.00	11.8	11.8	11.8	11.8	11.6	11.6	11.5	11.1	10.9
	3.00	13.7	13.7	13.6	13.6	13.3	13.1	13.0	11.9	11.3
	≥ 4.00	15.3	15.3	15.2	15.2	14.6	14.2	13.8	11.3	10.0
≥ 5.5 < 6.5	0.25	4.8	4.6	4.5	4.4	4.0	3.9	3.8	3.2	2.9
	0.50	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	0.75	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	1.00	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.1
	1.50	11.9	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.7	11.6
	2.00	12.8	12.8	12.8	12.8	12.7	12.7	12.7	12.6	12.5
	3.00	14.4	14.4	14.4	14.4	14.3	14.3	14.3	14.2	14.1
	≥ 4.00	15.4	15.4	15.3	15.3	15.2	15.1	15.1	14.9	14.8
≥ 6.5	0.25	5.1	5.1	5.0	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	4.4
	0.50	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
	0.75	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	1.00	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.3	10.2
	1.50	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.7
	2.00	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.6
	3.00	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.3	14.2
	≥ 4.00	15.4	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.1

Nota: se permite una interpolación lineal de la longitud o grado de inclinación y de demanda (hacia el 0,1 más próximo).

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Tabla 4: Vehículos ligeros equivalentes a RVs (E_r) en rampas \uparrow específicas (para determinar VMR).

Grado de inclinación (%)	Longitud de la rampa (mi)	Demanda en el periodo de análisis en el sentido analizado I_{vph} (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
$\geq 3 < 3.5$	≤ 0.25	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 0.25 \leq 0.75$	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 0.75 \leq 1.25$	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 1.25 \leq 2.25$	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	> 2.25	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 3.5 < 4.5$	≤ 0.75	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 0.75 \leq 3.50$	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	> 3.50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 4.5 < 5.5$	≤ 2.50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	> 2.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$\geq 5.5 < 6.5$	≤ 0.75	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 0.75 \leq 2.50$	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 2.50 \leq 3.50$	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	> 3.50	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
≥ 6.5	≤ 2.50	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	$> 2.50 \leq 3.50$	1.6	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	> 3.50	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4

Nota: No se recomienda la interpolación en esta tabla.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Cuando se produzcan estas situaciones, el factor de ajuste por vehículos pesados (para determinar la VMR) $f_{VP,VMR}$, VMR se calculará utilizando la **Ecuación 05** en lugar de la **Ecuación 04**.

Ecuación 05

$$f_{VP,VMR} = \frac{1}{1 + P_{CL} * P_C (E_{CL} - 1) + (1 - P_{CL}) * P_C * (E_C - 1) + P_R (E_R - 1)}$$

Dónde:

- ❖ P_{CL} = proporción de camiones circulando a velocidad limite (decimal); y
- ❖ E_{CL} = vehículos ligeros equivalentes a camiones circulando a velocidad limite, obtenido de la **Figura 09**.

El resto de variables han sido previamente definidas. Nótese que P_{cl} corresponde al cociente entre la intensidad de camiones circulando a velocidad límite y la intensidad total de camiones. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Figura 9: Vehículos ligeros equivalentes (ECL) a camiones circulando a velocidad límite en pendientes ↓ (para determinar VMR).

Diferencia entre VL y velocidad límite de vehículos pesados (mi/h)	Demanda en el periodo de análisis en el sentido considerado I_{vph} (veh/h)								
	≤100	200	300	400	500	600	700	800	≥900
≤15	4,7	4,1	3,6	3,1	2,6	2,1	1,6	1,0	1,0
20	9,9	8,7	7,8	6,7	5,8	4,9	4,0	2,7	1,0
25	15,1	13,5	12,0	10,4	9,0	7,7	6,4	5,1	3,8
30	22,0	19,8	17,5	15,6	13,1	11,6	9,2	6,1	4,1
35	29,0	26,0	23,1	20,1	17,3	14,6	11,9	9,2	6,5
≥40	35,9	32,3	28,6	24,9	21,4	18,1	14,7	11,3	7,9

Nota: Si se interpolan valores de demanda y diferencia de velocidades, se recomienda hacerlo hacia el valor de 0,1 más próximo.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

2.2.7.4. PASO 04: Estimar VMR

Al igual que sucede con el paso 3, este paso se aplicará únicamente en carreteras de dos carriles clase I y III. Las carreteras de clase II no utilizan VMR como parámetro de servicio (es decir, como medida de NS)

VMR se estimará a partir de VL, de la demanda en el periodo de análisis tanto en sentido directo (el analizado) como opuesto, y del porcentaje de zonas de no adelantamiento existentes en el sentido analizado. Será calculada mediante la **Ecuación 06**. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Ecuación 06

$$VMR_d = VL - 0.00776(I_{ci,d,VMR} + I_{ci,o,VMR}) - f_{na,VMR}$$

Dónde:

- ❖ VMR_d = velocidad media de recorrido en el sentido analizado (mi/h)
- ❖ VL = velocidad libre (en mi/h)
- ❖ $I_{ci,d,VMR}$ = demanda en el periodo de análisis en el sentido analizado bajo condiciones ideales, para determinar VMR (veh lig/h)
- ❖ $I_{ci,o,VMR}$ = demanda en el periodo de análisis en el sentido contrario al analizado bajo condiciones ideales, para determinar VMR (veh lig/h); y

❖ $f_{na,VMR}$ = factor de ajuste por % de no adelantamiento en función de VL y de la intensidad opuesta, dato obtenido de la **Tabla 05** (para determinar VMR).

Tabla 5: Factor de ajuste por % de no adelantamiento ($f_{na,VMR}$) para determinar VMR

Demanda en el periodo de análisis en sentido contrario $I_{ci,o,VMR}$ (veh lig/h)	% de zonas de no adelantamiento				
	≤ 20	40	60	80	100
VL ≥ 65 mi/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
VL = 60 mi/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
VL = 55 mi/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
VL = 50 mi/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
VL ≤ 45 mi/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 que la interpolación –para determinar $f_{na, VMR}$ - de las variables % de zonas de no adelantamiento, demanda y VL se realice hacia el valor de 0,1 más próximo.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

En la **Tabla 05** se entrará con $I_{ci,o}$ expresada en vehículos ligeros hora y no con I_{vph} expresada en vehículos hora. En este punto del proceso de cálculo dispondríamos del valor de demanda en el periodo de análisis completamente ajustada a condiciones ideales, la cual utilizaríamos para determinar VMR. Según se muestra en la figura, el efecto de las zonas de adelantamiento es mayor cuando la intensidad en el sentido contrario es baja. Según esta intensidad vaya aumentando este efecto decrecerá hasta cero, ya que el % de zonas de adelantamiento y no adelantamiento se volverá irrelevante cuando la intensidad en el sentido contrario sea tal que no permita el adelantamiento.

2.2.7.5. PASO 05: Ajuste de la demanda para estimar PTS

Este paso del proceso de cálculo será de aplicación en carreteras clase I y II exclusivamente. El nivel de servicio para clase III no está basado en PTS, por lo que deberemos saltárnoslo en este tipo de carreteras.

El proceso de ajuste de la demanda necesario para estimar PTS es básicamente similar al presentado para VMR. El enfoque general es similar, aunque se emplearan diferentes factores de ajuste, y la demanda ajustada resultante será diferente de la utilizada para estimar VMR. Por este motivo no se incluye aquí una discusión detallada del proceso, ya que este sería similar descrito para estimar VMR.

Se emplearán las **Ecuaciones 07 Y 08** para determinar la demanda necesaria para estimar PTS:

Ecuación 07

$$I_{ci,i,PTS} = \frac{I_{H,r,i}}{f_{hp} * f_{t,PTS} * f_{VP,PTS}}$$

Ecuación 08

$$f_{VP,PTS} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Factor de ajuste por tipo de terreno $f_{t,PTS}$ (para determinar PTS)

Igual que el caso del proceso para determinar la velocidad media de recorrido (VMR), el factor de ajuste por tipo de terreno será definido para tramos que discurren por terrenos de carácter general (llanos u ondulados) así como para rampas/pendientes específicas. La **Figura 10**

proporciona valores de ajuste para el caso de tramos en terreno general y en pendientes min. específicas (las cuales serán tratadas como terreno llano a efectos del análisis). **Tabla 06** proporciona factores de ajuste para el caso de rampas Max. Específicas. Estos ajustes serán utilizados para calcular la demanda. En las figuras se entrará con $Ivph = I/FHP$ (en veh/h).

Figura 10: factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS), terrenos llanos, ondulados y pendientes | específicas

Tipo de vehículo	Demanda en el periodo de análisis para el sentido considerado Ivph (Veh/h)	Terreno llano y pendientes ↓ específicas	Terreno ondulado
camiones, Ec	≤ 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
RVs, Er	cualquier intensidad	1.0	1.1

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras

Tabla 6: factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS) factor de ajuste por tipo de terreno ft,PTS (para determinar PTS)

GRADO DE INCLINACION (%)	LONGITUD DE RAMPA (mi)	DEMANDA EN EL PERIODO DE ANALISIS EN EL SENTIDO ANALIZADO Ivph (veh/h)									
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900	
≥ 3 < 3.5	0.25	1.00	0.99	0.97	0.96	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
	0.50	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
	0.75	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
	1.50	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	
	2.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
	3.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	
	≥ 4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	
≥ 3.5 < 4.5	0.25	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	
	0.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	
	0.75	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	
	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	
	1.50	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	
	2.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	
	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	≥ 4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
≥ 4.5 < 5.5	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	
	≥ 0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
≥ 5.5	cualquier valor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Rampas | específicas nota: se recomienda que la interpolación de la longitud de la rampa y la demanda se realice hacia el valor de 0.01 más próximo

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Factor de ajuste por vehículos pesado (para determinar PTS)

El proceso para determinar el factor de ajuste por vehículos pesados empleando para estimar PTS (*Ecuación 08*) es similar al mostrado para la velocidad media de recorrido (VMR). Deberá determinarse la equivalencia en vehículos ligeros de camiones (E_c) y vehículos de recreo (E_r). La **Figura 11** proporciona equivalencias tanto para camiones como para RVs para el caso de terrenos de carácter general (llanos y ondulados) y pendientes min. Específicas (que serán tratadas como si fueran terrenos llanos). Cuando se trata de estimar PTS, no existen procedimientos especiales para camiones que circulan a velocidad límite en pendientes min específicas. En la **Tabla 07** pueden encontrarse equivalencias para camiones y RVs circulando en rampas Max. Específicas. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Figura 11: VLE para camiones (E_c) y RVs (E_r) en terreno llano, ondulado y en pendientes | específicas (para determinación de PTS)

Tipo de vehículo	Demanda en el periodo analizado en el periodo de análisis I_{vph} (Veh/h)	Terreno llano y pendientes ↓ específicas	Terreno ondulado
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
RVs, E_r	cualquier valor	1.0	1.0

Nota: se desaconseja la interpolación en esta tabla

(Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010)

Tabla 7: VLE para camiones (Ec) y RVs (Er) circulando en rampas / específicas (para determinación de PTS)

GRADO DE INCLINACION (%)	LONGITUD DE RAMPA (mi)	DEMANDA EN EL PERIODO DE ANALISIS EN EL SENTIDO ANALIZADO lvph (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
vehículos ligeros equivalentes a camiones (Ec)										
≥ 3 < 3.5	≤ 2.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.00	1.5	1.3	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥ 4.00	1.6	1.4	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
≥ 3.5 < 4.5	≤ 1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.50	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	2.00	1.6	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	3.00	1.8	1.4	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥ 4.00	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
≥ 4.5 < 5.5	≤ 1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.50	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	2.00	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
	3.00	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
	≥ 4.00	3.5	3.1	2.9	2.7	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8
≥ 5.5 < 6.5	≤ 0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.00	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	1.50	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	2.00	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
	3.00	3.4	3.2	3.0	2.9	2.4	2.3	2.3	1.9	1.9
	≥ 4.00	4.5	4.1	3.9	3.7	2.9	2.7	2.6	2.0	2.0
≥ 6.5	≤ 0.50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	1.00	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4
	1.50	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	2.00	2.9	2.8	2.7	2.7	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
	3.00	4.2	3.9	3.7	3.6	3.0	2.8	2.7	2.2	2.2
	≥ 4.00	5.0	4.6	4.4	4.2	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
vehículos ligeros equivalentes a VRs (Er)										
cualquier valor	cualquier valor	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Nota: se recomienda que la interpolación de la longitud de la rampa y la demanda se realice hacia el valor 0.1 más próximo

(Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010)

2.2.7.6. PASO 06: Estimación de porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS)

Este paso será de aplicación únicamente en carreteras de dos carriles clase I y II. Las clases III no utilizan PTS como parámetros de servicio. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Una vez calculadas estimadas las demandas necesarias, se empleará la **Ecuación 09** para estimar PTS:

Ecuación 09

$$PTS_{d=} PTSB_d + f_{na,PTS} \left(\frac{I_{ci,d,PTS}}{I_{ci,d,PTS} + I_{ci,o,PTS}} \right)$$

Donde:

- ❖ PTS_d = % de tiempo siguiendo (% de demora en tiempo) en sentido analizado (un decimal)
- ❖ PTSB_d = % de tiempo siguiendo para condiciones ideales en el sentido de circulación analizado, calculado mediante la **Ecuación 10**.
- ❖ F_{na, PTS} = ajuste de PTS por % de zonas de no adelantamiento en el tramo analizado, determinado a partir de la **Tabla 08**.
- ❖ I_{ci,d,PTS} = demanda en el periodo de análisis en el sentido analizado, necesario para estimar PTS (veh lig/h)
- ❖ I_{ci,o,PTS} = demanda en el periodo de análisis en el sentido opuesto (al analizado), necesario para estimar PTS (veh lig/h)
- ❖ El % de tiempo siguiendo para condiciones ideales, PTSB, se estimará mediante la **Ecuación 10**:

Ecuación 10

$$PTSB_d = 100[1 - \exp(-a\{I_{ci,d}\}^b)]$$

Donde a y b son constantes cuyos valores se tomará de la **Figura 12**, el resto de términos han sido previamente definidos.

En las **Figura 12** y **Tabla 08** deben utilizarse las demandas correspondientes al periodo de análisis considerando bajo condiciones ideales distinguiendo entre sentidos, expresadas en vehículos ligeros hora (I_{ci,d} y I_{ci,o})

Figura 12: Cálculo de PTS, coeficientes a utilizar en Ecuación 10 para estimar PTSB

Demanda en sentido contrario Icio (Veh lig/h)	Coficiente a	Coficiente b
≤ 200	-0.0014	0.973
400	-0.002	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
≥ 1600	-0.0062	0.817

Nota: Se recomienda que la interpolación del coeficiente a y b se realice hacia el valor 0.0001 y 0.001 más próximo respectivamente.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Tabla 8: Factor de Ajuste por % de No Adelantamiento $f_{na,PTS}$ (para determinación de PTS)

DEMANDA TOTAL (CONSIDERANDO AMBOS SENTIDOS) $I_{ci} = I_{ci,d} + I_{ci,0}$ (veh lig/h)	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO ADELANTAMIENTO					
	0	20	40	60	80	100
REPARTO POR SENTIDOS = 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
1400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
REPARTO POR SENTIDOS = 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
1400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.3
2000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
REPARTO POR SENTIDOS = 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
1400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
REPARTO POR SENTIDOS = 80/20						
≤ 200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.5	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
1400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
REPARTO POR SENTIDOS = 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
1400	1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

Nota: Se recomienda que la interpolación lineal del % de no adelantamiento, demanda y reparto por sentidos para determinar $f_{na,PTS}$ se realice hacia el valor de 0.1 más próximo.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Nótese que en la **Tabla 08** el factor de ajuste dependerá de la demanda total (sumando ambos sentidos), aunque el factor sea aplicado en un análisis enfocado a un sentido concreto de circulación. Dicho factor reflejará no solo el % de no adelantamiento en el tramo a analizar; tendrá también en cuenta el reparto por sentidos de la demanda. Este reparto por sentidos será el mismo independientemente del sentido que se esté analizando. Por lo tanto, repartos de por ejemplo 70/30 o 30/70 tendrán como resultado el mismo factor de ajuste (si el resto de variables mantienen un valor constante). La **Ecuación 09**, sin embargo, ajustará el valor del factor de forma que refleje el balance de flujos en el sentido de circulación analizado y en el contrario. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017).

2.2.7.7. PASO 08: Determinación de nivel de servicio (NS) y capacidad vial

Determinación del nivel de servicio

En este punto del análisis, los valores de todas las variables necesarias han sido calculados, el NS se determinará comparando los parámetros apropiados con los criterios indicados en la **Tabla 01**, el parámetro o parámetros a utilizar serán los apropiados para la clase de carretera que este siendo analizada; es decir:

Clase I: VMR y PTS

Clase II: PTS

Clase III: PVL

En carreteras de clase I se aplicarán dos parámetros de servicio, por lo tanto, al entrar en la **Tabla 01** se obtendrán dos valores de nivel de servicio, pero de ellos será el que prevalezca. Por ejemplo, si la velocidad media de recorrido indica nivel de servicio C y porcentaje de tiempo de seguimiento indica nivel de servicio D con el que se circulará será nivel de servicio D

Determinación de la capacidad

La capacidad de una carretera de dos carriles o lo que es lo mismo, el umbral entre nivel de servicio E y NS F, no se determinará mediante parámetros que midan la eficacia de su circulación, bajo condiciones ideales tendrá un valor de 1.700 veh lig/h (por sentido). Para determinar la capacidad para condiciones reales deberán aplicarse a las **Ecuaciones 03 y 07**, los factores de ajuste adecuados. la demanda de 1.700 veh lig/h para condiciones ideales es un valor conocido, debiendo buscarse el valor que adoptara en condiciones reales.

Hay que tener en cuenta, en primer lugar, que la capacidad ha sido definida en forma de intensidad para un periodo de análisis de 15 minutos, por lo que FHP adoptara un valor igual a



1,00 en las *Ecuaciones 03 y 07*, se aplicaran entonces las *Ecuaciones 11 y 12*, (o ambas), según se describe a continuación.

Ecuación 11

$$C_{r,VMR} = 1.700 * f_{t,VMR} * f_{VP,VMR}$$

Ecuación 12

$$C_{r,PTS} = 1.700 * f_{t,PTS} * f_{VP,PTS}$$

Donde

- $C_{r,VMR}$ = capacidad en el sentido analizado para condiciones reales (veh lig/h), basada en VMR
- $C_{r,PTS}$ = capacidad en el sentido analizado para condiciones reales (veh lig/h) basadas en PTS

En Carreteras Clase I deberán calcularse ambas capacidades, el valor más bajo de los dos representará la Capacidad, en Carreteras Clase II se calculará únicamente la capacidad basada en PTS, y en las de Clase III únicamente la Capacidad basada en VMR.

El hecho de que los factores de ajuste dependan de la demanda (expresada en veh/h) complicara el cálculo, por este motivo deberán utilizarse factores de ajuste para una capacidad en condiciones ideales de 1.700 veh lig/h. técnicamente, este valor debería ser ajustado para que reflejase el impacto de vehículos pesados e inclinaciones de rasantes. Esto conllevaría un proceso iterativo para calcular el resultado, que habría que chequear posteriormente.

En términos prácticos esto sería innecesario ya que, en todas las figuras que proporcionan factores de ajuste, las intensidades de mayor valor tienen un valor superior a 900 veh/h. resulta altamente improbable que algún ajuste redujera el valor de 1.700 veh lig/h a valores inferiores a 900 eh/h. por eso, a la hora de determinar la capacidad, todos los factores de ajuste empleados deberán estar basados en intensidades superiores a 900 veh/h.

A la hora de evaluar la capacidad, deberán ser consideradas otras características de esta metodología. Cuando el reparto por sentidos sea diferente de 50/50 (en terreno llano y ondulado), la capacidad en cada sentido podría ser diferente, además, la capacidad de alguno de ellos o del conjunto de ambos podría superar el límite de 3.200 veh lig/h. en estos casos, la capacidad por sentido estimada nos sería alcanzable con el reparto indicado. Si se da este caso, la forma de proceder será restringiendo a 1.700 veh lig/h la capacidad básica en el sentido de mayor demanda y calculando la capacidad en sentido contrario aplicando el reparto por

sentidos, con un valor máximo de 1.500 veh lig/h. (Romana, Nuñez, Martínez, & Díez de Arizaleta, 2017)

2.2.7.8. Propuesta para vías de dos carriles

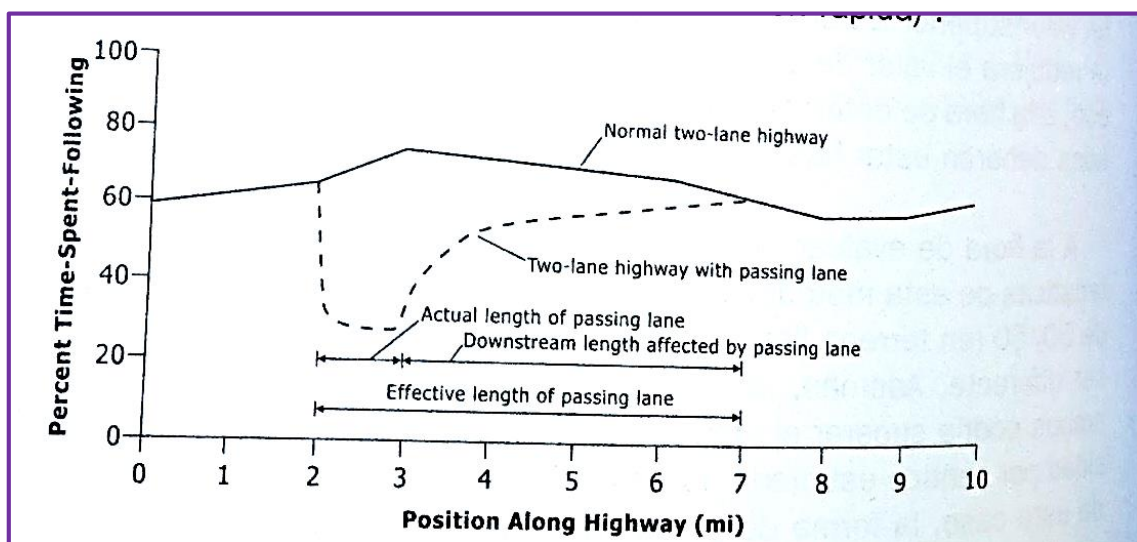
Tramos con Carril Adicional para Circulación Rápida

Dotar a una carretera de dos carriles de un tercer carril adicional para circulación rápida en terrenos llanos y ondulados hará mejorar su circulación, pudiendo mejorar por lo tanto su nivel de servicio. En esta sección se describe el procedimiento para estimar dicho efecto.

Este procedimiento deberá aplicarse únicamente en terrenos llanos y ondulados. En rampas o pendientes específicas los carriles que se añadirán corresponderían a carriles adicionales para circulación lenta, los cuales serán tratados en la siguiente sección.

En la **Figura 13** ilustra el efecto sobre la circulación provocada por un carril adicional para circulación rápida (efecto sobre PTS). En ella puede observarse que este tipo de carriles proporcionan beneficios en la circulación; beneficios que se dejarían notar sobre una cierta distancia corriente abajo de dicho carril antes que PTS volviese a su nivel anterior (es decir, al valor que tendría sin la existencia del carril para circulación rápida).

Figura 13: Efecto de un carril para circulación rápida sobre PTS



Nota: Ordenadas: % de tiempo de seguimiento (PTS). Abscisas: posición a lo largo de la carretera. Leyenda gráfica (en orden descendente): carretera normal e dos carriles, carretera de dos carriles con carril adicional para circulación rápida, longitud real del carril adicional para circulación rápida, longitud efectiva del carril adicional para circulación rápida.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

En la **Figura 14** muestra la distancia – corriente debajo de su circulación- en la que el efecto de un carril adicional para circulación rápida seguirá notándose, tanto sobre VMR como sobre PTS. En caso de VMR el efecto se verá limitado a 1.7 millas en todos los casos. Sin embargo, en el caso de PTS el efecto podría seguir notándose a distancias superiores a la longitud del propio carril adicional para circulación rápida (a distancias de hasta 13 millas en el caso de bajos niveles de demanda).

Figura 14: Distancia (corriente abajo) de influencia de carril adicional para circulación rápida.

Demanda en el sentido considerados $I_{cl,d}$ (veh lig/h)	Longitud de calzada afectada corriente-abajo L_{de} (mi)	
	PTS	VMR
≤200	13,0	1,7
300	11,6	1,7
400	8,1	1,7
500	7,3	1,7
600	6,5	1,7
700	5,7	1,7
800	5,0	1,7
900	4,3	1,7
≥1.000	3,6	1,7

Nota: Se recomienda que la interpolación se realice hacia el valor 0.1 más próximo.
Tramos en terrenos llanos u ondulados

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

El procedimiento aquí presentado está pensando para el análisis de tramos que discurran por terrenos llanos u ondulados y que abarquen la totalidad del carril adicional para circulación rápida. Aquellos tramos situados corriente arriba y abajo podrán ser incluidos en el análisis. Se recomienda que el tramo a analizar abarque por completo la distancia corriente abajo influenciada por el efecto del carril adicional para circulación rápida.

Debido al efecto producido sobre PTS corriente abajo del carril para circulación rápida, el NS en carretas de dos carriles clase I y II (el cual estará determinado por el propio PTS) podría mejorar significativamente si se añade un carril adicional de este tipo. No obstante, deberá tenerse en cuenta el impacto provocado sobre las intensidades de servicio. El resultado dependerá enormemente de las longitudes relativas del tramo a analizar y del carril para circulación rápida. Si dicho tramo de análisis incluyera únicamente la longitud del carril para circulación rápida más su distancia de influencia corriente abajo (influencia sobre PTS), podría parecer que para niveles de servicio comprendidas entre NS A y NS D- el carril adicional incrementa de forma importante la intensidad de servicio (por lo que la capacidad ni el NS E se verían afectados). No obstante, si en el análisis del tramo se tiene en cuenta longitudes



superiores a la anteriormente indicada, este impacto se reducirá, incluso de forma considerable en algunas ocasiones.

Por lo tanto, estos incrementos aparentes en las intensidades de servicio deberán ser considerados de forma prudente, teniendo muy presente el texto en el que han sido obtenidos.

Los pasos a seguir para realizar este particular análisis serán los siguientes:

Paso 1: Realizar el análisis obviando la existencia del carril adicional para circulación rápida.

El primer paso a seguir a la hora de analizar el impacto de un carril adicional para circulación rápida sobre la circulación en una carretera de dos carriles sería el de realizar los pasos básicos descritos anteriormente. El resto del procedimiento mostrara, en esencia, la mejora ocasionada por dicho carril (tomada con respecto a la circulación de un tramo similar que no disponga de este).

Paso 2: División del tramo en regiones

El tramo a analizar se dividirá en 4 regiones, que serán las siguientes:

1. Región corriente arriba del carril adicional para circulación rápida, con una longitud igual a L_u .
2. Región correspondiente al propio carril adicional, con una longitud igual a L_{ca} .
3. Región de influencia situada corriente abajo, contigua a dicho carril adicional, dentro de la distancia efectiva; L_{de} .
4. Región corriente abajo al carril adicional y situada fuera de su influencia, de longitud igual a L_d .

Algunas de estas regiones podrían no verse incluidas en ciertos análisis particulares. la región 2 (correspondiente al propio carril) deberá ser incluida en todos los análisis. Es muy recomendable- aunque no absolutamente necesario- que la región 3 sea también incluida. Incluir las regiones 1 y 4 será opcional, decisión que quedará a criterio del ingeniero.

Deberá sumarse las longitudes de las cuatro regiones para determinar la longitud total del tramo a analizar. VMR y PTS tendrán un valor diferente en cada región, y los efectos corrientes abajo indicados en la **Figura 14** serán diferentes para cada una de ellas.

La longitud del carril adicional para circulación rápida L_{ca} , será igual a la longitud construida (o planificada). Esta debería incluir la longitud del carril además de sus cuñas de transición. El procedimiento este calibrado para carriles adicionales cuyas longitudes este dentro de los valores óptimos mostrados en la **Figura 15**. Aquellos que posean distancias sustancialmente

superiores o inferiores a estos valores óptimos podrían proporcionar un beneficio inferior al estimado por este procedimiento.

Figura 15: Longitudes óptimas de carriles adicionales para circulación rápida en carreteras de dos carriles.

Demanda en el sentido considerado $I_{c,d}$ (veh lig/h)	Longitud óptima del carril adicional para circulación rápida, (mi // km)
≤ 100	$\leq 0,50$ mi // $\leq 0,80$ km
$> 100 \leq 400$	$> 0,50 \leq 0,75$ mi // $> 0,80 \leq 1,20$ km
$> 400 \leq 700$	$> 0,75 \leq 1,00$ mi // $> 1,20 \leq 1,60$ km
≤ 700	$> 1,00 \leq 2,00$ mi // $> 1,60 \leq 3,20$ km

Dentro del tramo a analizar, la longitud de la región 1 (L_u) se determinará considerando la localización (existente o planificada) del carril para circulación rápida dentro de dicho tramo. La longitud de la región 3 (L_{de}) se obtendrá a partir de la **Figura 14**. La longitud restante que quede corriente abajo del carril de circulación rápida será considerada en L_d , calculándose según indica la **Ecuación 13**:

Ecuación 13

$$L_d = L_t - (L_u + L_{ca} + L_{de})$$

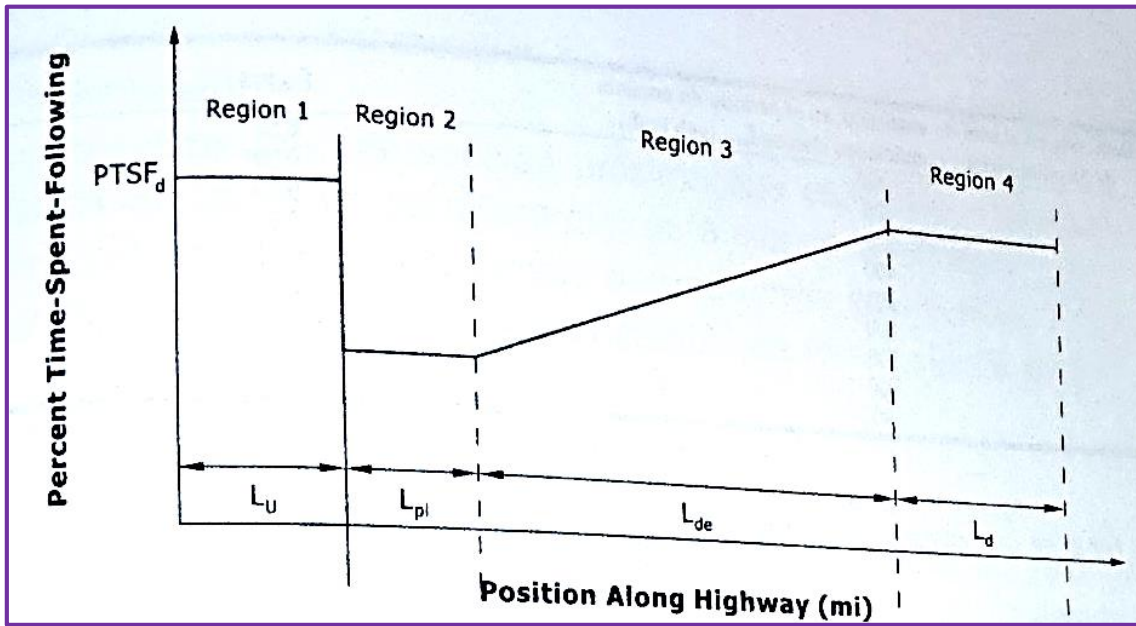
Donde L_t correspondería a la longitud total del tramo objeto del análisis (en millas). El resto de variables han sido previamente definidas.

Paso 3: Determinación del PTS

Se considerará que el valor de PTS correspondiente a L_u y L_d será igual al valor de PTSd estimado por el procedimiento normal de análisis (es decir, sin existencia de carril adicional para circulación rápida). Sin embargo, en la porción de tramo que dispone de carril para circulación rápida (L_{ca}), PTS tendrá por norma general un valor equivalente entre un 58 % y 62 % de su valor corriente arriba.

Este efecto dependerá de la demanda en el sentido considerado. Dentro de L_{de} se asume que el valor de PTS se incrementa de forma lineal partiendo del valor del carril para circulación rápida hasta alcanzar el valor normal corriente arriba. La figura 16 ilustra esta distribución de valores de PTS.

Figura 16: Efecto sobre PTS de un carril para circulación rápida



Nota. Ordenadas: porcentaje de tiempo siguiendo PTSd (también denominado % de demora en tiempo). Abscisas: posición a lo largo de la carretera (mi)

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Tomando como base este modelo, el valor de PTS para la totalidad del tramo a analizar – afectado por el carril adicional para circulación rápida – será estimado por la **Ecuación 14**:

Ecuación 14

$$PTS_{ca} = \frac{PTS_d \left[L_u + L_d + f_{ca, PTS} * L_{ca} + \left(\frac{1 + f_{ca, PTS}}{2} \right) * L_{de} \right]}{L_t}$$

Donde:

- PTS_{ca} = PTS para un tramo afectado por la presencia de un carril adicional para circulación rápida (un decimal); y
- $f_{ca, PTS}$ = factor de ajuste por carril adicional para circulación rápida, factor que considera el impacto provocado sobre PTS por el carril de adelantamiento, el cual se obtendrá de la **Figura 17**.

El resto de variables han sido previamente definidas.

Figura 17: $f_{ca, PTS}$ – factor de ajuste por carril adicional para circulación rápida

Demanda en el sentido analizado, en el periodo de análisis de 15 minutos bajo condiciones ideales $I_{c,d}$, (veh lig/h)	$f_{ca, PTS}$
≤ 100	0,58
200	0,59
300	0,59
400	0,60
500	0,61
600	0,61
700	0,61
800	0,62
≥ 900	0,62

Nota: se desaconseja la interpolación de esta tabla. Utilice el valor más cercano de los indicados en ella.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Si el tramo a analizar no pudiera abarcar la totalidad de la longitud L_{de} debido a que este se viese interrumpido por la existencia dentro de él de un núcleo de población o una intersección que afecte a su prioridad de paso, no se utilizará la longitud L_d . En este caso, la longitud real L' de sería inferior al valor de L_{de} tabulado en la figura 14, debiendo usarse la ecuación 15 en lugar de la **Ecuación 15**:

Ecuación 15

$$PTSc_a = \frac{PTSc_d \left[Lu + Ld + f_{ca, PTS} * Lca + \left(\frac{1 + f_{ca, PTS}}{2} \right) * Lde \right]}{Lt}$$

, donde todas las variables han sido previamente definidas.

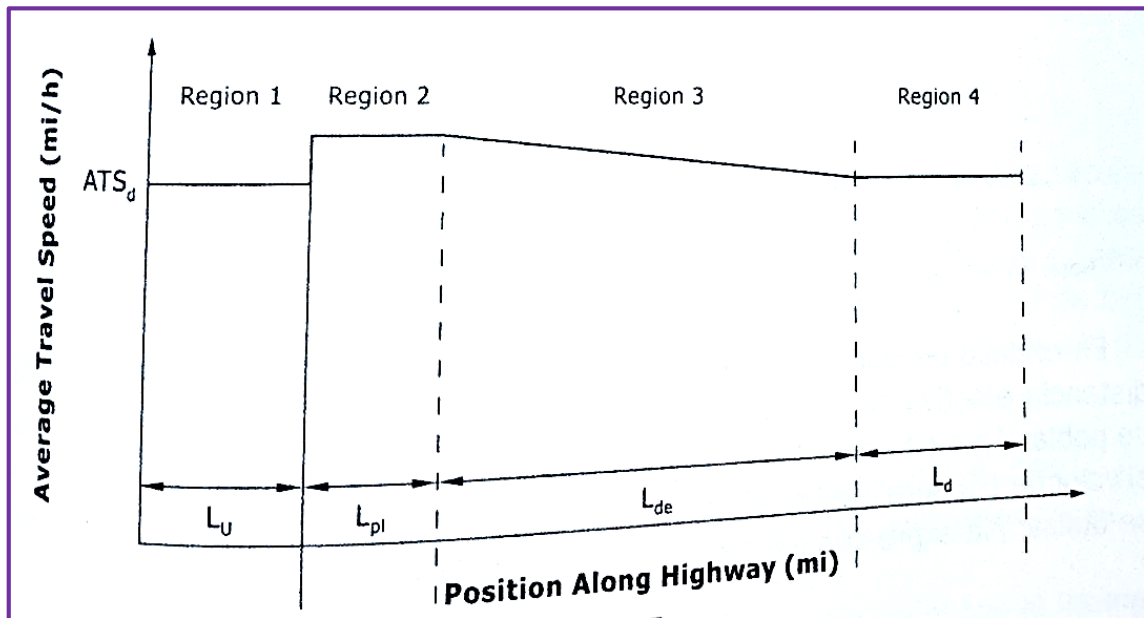
En general, la distancia efectiva corriente abajo no debería interrumpirse. A pesar de ello se considerará que en un punto determinado de una carretera se darán –corriente abajo del carril para circulación rápida –distancias efectivas más cortas que las calculadas anteriormente cuando se produzca alguna de las circunstancias siguientes:

- Cuando –en un tramo de carretera rural- cambie radicalmente el entorno de la carretera. Tal podría ser el caso de la entrada a una pequeña población o a un área de desarrollo rural.
- Cuando exista una intersección no semaforizada que provoque un cambio en la demanda.
- Cuando exista una intersección próxima que comience a afectar a la circulación del tramo de carretera que está siendo analizado.

PASO 4: Determinar velocidad media de recorrido (VMR)

Puede asumirse que dentro de L_u y L_d la VMR tendrá un valor similar a VMR_d , es decir, a la velocidad media de recorrido que podría observarse si no existiese el carril para circulación rápida. En el propio carril para circulación rápida, la VMR adoptará generalmente valores entre un 8% y un 11% superiores dependiendo de la demanda en el sentido considerado. En la región 3 (ó “zona efectiva corriente-abajo”, L_{de}) se asumirá que VMR se reducirá linealmente (proporcionalmente a la distancia recorrida), desde el valor adoptado en el carril para circulación rápida hasta su valor “normal”. La figura 18 ilustra el impacto sobre VMR ocasionado por un carril para circulación rápida.

Figura 18: Impacto sobre VMR provocado por carril para circulación rápida



Nota: ordenadas: velocidad media de recorrido VMR. Abscisas: posición a lo largo de la carretera (mi)

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Esta VMR se calculará utilizando la **Ecuación 16**:

Ecuación 16

$$VMRca = \frac{VMRd * Lt}{Lu + Ld + \left(\frac{Lca}{fca,VMR}\right) + \left(\frac{2Lde}{1 + fca,VMR}\right)}$$

, donde:

- VMRca = velocidad media de recorrido en un tramo afectado por un carril adicional para circulación rápida (mi/h).
- fca,VMR = factor de ajuste por carril adicional para circulación rápida, que recogerá el efecto de éste sobre la VMR y cuyo valor se obtendrá de la figura 19.

El resto de variables han sido previamente definidas.

Figura 19: Factor de ajuste (fca, VMR) por carril para circulación rápida

Demanda en el sentido considerado $I_{c,d}$ (veh lig/h)	$f_{ca,VMR}$
≤100	1,08
200	1,09
300	1,10
400	1,10
500	1,10
600	1,10
700	1,11
800	1,11
≥900	1,11

Nota: No se recomienda la interpolación. Utilice el valor de esta tabla que más se aproxime

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

En el caso de que el tramo a analizar no pueda incluir la totalidad de la distancia efectiva corriente-abajo (Lde) –debido a la existencia de un núcleo de población o de una intersección que provoquen la interrupción del tramo –el valor de L’de será inferior al de Lde. Para determinar la VMR en estos casos, se utilizará la **Ecuación 17** en lugar de la **16**:

Ecuación 17

$$VMRca = \frac{VMRd * Lt}{Lu + \frac{Lca}{fca,VMR} + \frac{2L'de}{\left[1 + fca,VMR + (fca,VMR - 1) \left(\frac{Lde - L'de}{Lde}\right)\right]}}$$

, donde todos sus términos han sido previamente definidos.

Paso 5: Determinar nivel de servicio (NS)

Determinar el NS en un tramo con carril para circulación rápida no será diferente de cómo se haría para un tramo normal, con la excepción de que se emplearán VMRca y PTSca como parámetros de servicio a comparar con los criterios de NS mostrados en la **Tabla 1**.

Al igual que sucedía en los tramos sin carriles adicionales, el NS para carreteras de dos carriles clase I estará basado en PTS y en VMR. El NS para las de clase II estará basado únicamente en PTS. (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Tramos con carriles adicionales para circulación lenta en rampas ↑

Un carril adicional para circulación lenta es en realidad un carril de circulación rápida que se añadirá en una rampa para permitir adelantar a aquellos vehículos pesados que circulen a una velocidad menor. Normalmente se añadirán por la derecha, de forma que todos los vehículos que circulen más lentamente deberían utilizarlo, permitiendo al resto de vehículos la posibilidad de adelantarlos circulando por el carril normal.

La American Association of State Highway and Transportation Official (7) indica que su uso en carreteras dos carriles estaría justificado cuando:

- La demanda para el periodo de análisis en el sentido en el que la inclinación es ascendente (rampa) exceda de 200 veh/h.
 - En dicha demanda, la demanda de pesados exceda de 20 veh/h
- (Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

Valoración de NS en conjuntos de tramos de carreteras de dos carriles (a nivel de infraestructura) en el sentido considerado

Las carreteras de dos carriles poseen ciertas características uniformes, lo cual proporcionará una base para plantear su análisis. Podrán combinarse varios tramos contiguos (en el mismo sentido) para analizar porciones más extensas (con características variables), a nivel de infraestructura. Dentro de dicha infraestructura tendrá que realizarse un análisis de evaluación independiente de cada tramo uniforme.

Para dicha infraestructura podrán estimarse valores medios ponderados de PTS y VMR. La ponderación se realizará sobre la base del tiempo total de recorrido dentro del periodo de análisis de 15 minutos. El tiempo total de recorrido de todos los vehículos dentro del periodo de análisis de 15 minutos podrá estimarse utilizando las **Ecuaciones 18 Y 19**:

Ecuación 18

$$VM_{i15} = 0.25 \left(\frac{I_{hi}}{FHP} \right) L_t$$

Ecuación 19

$$t_{total,i15} = \frac{VM_{i15}}{VMR_i}$$

, donde:

- VM_{i15} = vehículos-milla totales (veh-mi) recorridos por todos los vehículos que circulan por el tramo i durante el periodo de análisis de 15 minutos en el sentido.
- I_{hi} = demanda en la hora de referencia en el tramo i en el sentido analizado (veh/h).
- FHP = factor de hora punta.
- L_t = longitud del tramo i (mi) en el sentido analizado.
- $t_{total,i15}$ = tiempo total de recorrido empleado por todos los vehículos que atraviesan el tramo i durante el periodo de análisis de 15 minutos en el sentido analizado (veh-h); y
- VMR_i = velocidad media de recorrido en el tramo i (mi/h) en el sentido analizado

Una vez calculado el tiempo total de recorrido para todos los vehículos en cada tramo, podremos obtener valores medios ponderados de PTS y VMR utilizando las **Ecuaciones 20 Y 21**:

Ecuación 20

$$VMR_{inf} = \frac{VM_1 + VM_2 + VM_3 + \dots + VM_i}{t_{total,1} + t_{total,2} + t_{total,3} + \dots + t_{total,i}}$$

Ecuación 21

$$PTS_{inf} = \frac{(t_{total,1} * PTS_1) + (t_{total,2} * PTS_2) + (t_{total,3} * PTS_3) + \dots + (t_{total,i} * PTS_i)}{t_{total,1} + t_{total,2} + t_{total,3} + \dots + t_{total,i}}$$

, donde:

- VMR_{inf} = velocidad media de recorrido para la infraestructura (mi/h)
- PTS_{inf} = PTS para la infraestructura (un decimal)



- PTS_i = PTS para el tramo i (un decimal)
- VM_i = vehículos-milla producidos en el tramo i (veh-mi); y
- $t_{total,i}$ = tiempo total de recorrido para todos los vehículos del tramo i (veh-h).

Cuando se vaya a ensamblar un conjunto de tramos para el análisis, no deberán combinarse tramos de carreteras de dos carriles de diferente clase (clase I, II y III). El NS para dicho conjunto de tramos estará también basado en los criterios indicados en la **Tabla 1**.

(Romana, Nuñez, Martínez, & Diez de Arizaleta, 2017)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Con la disminución de la velocidad media de recorrido (VMR) y aumento de porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS), la capacidad y nivel de servicio desciende, basado en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca.

2.3.2. Sub Hipótesis

2.3.2.1. Hipótesis Especifica 01

Con el incremento de la velocidad libre, se obtiene un mejor nivel de servicio, según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca.

2.3.2.2. Hipótesis Especifica 02

A menor demanda para condiciones ideales, la capacidad disminuye según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca.

2.3.2.3. Hipótesis Especifica 03

Con el aumento del porcentaje de no adelantamiento el nivel de servicio desciende según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca.

2.3.2.4. Hipótesis Especifica 04

Con el descenso del porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSd) el nivel de servicio mejora según Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) en la Vía PE-3S tramo Arco Tica tica-Izcuchaca.



2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables Independientes

- Velocidad media de recorrido (VMR)
- porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSd)

2.4.1.1. Nivel o Dimensión de Variable Independientes para VMR

- Velocidad Libre (VL)
- Demanda para condiciones ideales ($I_{ci,i,VMR}$)
- Factor de ajuste por porcentaje de no adelantamiento ($f_{na, VMR}$)

Indicadores de variables independientes para estimar la velocidad media de recorrido (VMR)

a) Velocidad Libre (VL)

- Velocidad media de la muestra (VMM)
- Intensidad total(I)
- Factor de Ajuste por Vehículos Pesados ($f_{VP,VMR}$)

b) Demanda para condiciones ideales en el sentido analizado ($I_{ci,i,VMR}$)

- Demanda Horaria para Condiciones Reales ($I_{H,r,i}$),
- Factor de Hora Punta (FHP)
- Factor de Ajuste Tipo de Terreno (f_t,VMR)
- Factor de Ajuste por Vehículos Pesados ($f_{VP,VMR}$)

c) Factor de ajuste por porcentaje de no adelantamiento ($f_{na, VMR}$)

- Valor de % de Zonas de No Adelantamiento
- Valor de la Demanda Ideal Sentido Opuesto ($I_{ci,o,VMR}$)
- Valor de Velocidad Libre (VL)

2.4.1.2. Nivel o Dimensión de Variable Independientes para PTS

- Demanda para condiciones ideales ($I_{ci,i,PTS}$)
- % de tiempo siguiendo para condiciones ideales PTSBd
- Factor de ajuste de PTS por % de zonas de no adelantamiento ($f_{na,PTS}$)



Indicadores de variables independientes para estimar porcentaje de tiempo de seguimiento (PTS)

a) Demanda para condiciones ideales (Ici,d,PTS)

- Demanda Horaria para Condiciones Reales(IH,r,d)
- Factor de Hora Punta (FHP)
- Factor de Ajuste por Tipo de Terreno (ft,PTS)
- Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (fVP,PTS)

b) % de tiempo siguiendo para condiciones ideales PTSBd

- Demanda para Condiciones Ideales (Ici,d)

c) Factor de ajuste de PTS por % de zonas de no adelantamiento (fna,PTS)

- valor de % de zonas de no adelantamiento
- Demanda para condiciones ideales (Ici,i=(Ici,d)+(Ici,o))
- reparto por sentido

2.4.2. Variables Dependientes

- Capacidad Vial
- Nivel de Servicio

2.4.2.1. Indicadores de Variables Dependientes para Capacidad Vial

- Demanda para Condiciones Ideales (Ici,i,VMR-PTS)
- Factor de Ajuste por Vehículos Pesados (fVP,VMR-PTS)
- Factor de Ajuste Tipo de Terreno (ft,VMR-PTS)

2.4.2.2. Indicadores de Variables Dependientes para Nivel de Servicio

- Valor de VMR
- Valor de PTS

2.4.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

59

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	NIVEL	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	FUENTE DE VERIFICACIÓN
Variables Dependientes	Nivel de servicio		Los Niveles de Servicio (NS) son una clasificación cuantitativa de las medidas y parámetros de circulación que caracterizan la calidad de servicio. Aquellos parámetros de circulación elegidos –de entre todos los definidos – para establecer el NS de un elemento viario se denominaran parámetros de servicio. El HCM establece seis niveles de servicio – comprendidos desde NS A hasta NS F –. NS A representa las mejores condiciones de circulación posibles – desde la perspectiva del usuario –, y NS F las peores	Valor VMR (mi/h).	# Libro especializado (MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS HCM 2010).
				Valor PTS (%)	
	Capacidad vial		La capacidad (veh/h) de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tráfico y de los dispositivos de control	#Demanda para condiciones ideales (Ici,i,VMR-PTS) #factor de ajuste por vehículos pesados (fVP,VMR-PTS) #factor de ajuste tipo de terreno (ft,VMR-PTS)	# Formato de recolección de velocidades
Variables Independientes	Velocidad media de recorrido (VMR)	Velocidad Libre (VL)	La velocidad libre es la velocidad media de un vehículo si este no es interrumpido o influenciado por algún otro usuario. La unidad para la velocidad libre es (mi/h)	#velocidad media de la muestra (VMM),	# Guías de observación de campo
				#Intensidad total(I)	
				#factor de ajuste por vehículos pesados (fVP,VMR)	
		Demanda para condiciones ideales (Ici,i,VMR)	Número de vehículos ligeros que circulan por una vía durante un período de tiempo específico, en la cual los vehículos totales que circulan por la vía son convertidos a vehículos ligeros debido a factores de ajuste por tipo de terreno y factores de ajuste por vehículo pesado. Demanda en el período de análisis para condiciones ideales, estimada a partir de la demanda en la hora de referencia para condiciones reales, correspondiente al sentido i (para determinar VMR). Su unidad es (veh lig/h).	#demanda horaria para condiciones reales (IH,r,i)	
				#factor de hora punta (FHP)	
				#factor de ajuste tipo de terreno (ft,VMR)	
	Factor de ajuste por porcentaje de no adelantamiento (fna,VMR)	Factor de ajuste por porcentaje de no adelantamiento en función del valor de la velocidad libre y de la intensidad opuesta.	#valor de % de zonas de no adelantamiento		
			#valor de la demanda ideal sentido opuesto(Ici,o,VMR)		
			#valor de Velocidad Libre (VL)		
	Porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSd)	Demanda para condiciones ideales (Ici,i,PTS)	Número de vehículos ligeros que circulan por una vía durante un período de tiempo específico, en la cual los vehículos totales que circulan por la vía son convertidos a vehículos ligeros debido a factores de ajuste por tipo de terreno y factores de ajuste por vehículo pesado. Demanda en el período de análisis para condiciones ideales, estimada a partir de la demanda en la hora de referencia para condiciones reales, correspondiente al sentido i (para determinar PTS). Su unidad es (veh lig/h).	#demanda horaria para condiciones reales (IH,r,i)	
				#factor de hora punta (FHP)	
				#factor de ajuste por tipo de terreno (ft,PTS)	
% de tiempo siguiendo para condiciones ideales PTSBd		Depende de interpolar la demanda en sentido contrario Icio, (veh lig/h) y coeficientes a y b, correspondiente al período de análisis considerado bajo condiciones ideales.	# Demanda para condiciones ideales (Ici,d)		
			Factor de ajuste de PTS por % de zonas de no adelantamiento (fna,PTS)	Este factor depende de interpolar la demanda total (considerando ambos sentidos) así como del porcentaje de no adelantamiento y reparto por cada sentido.	#valor de % de zonas de no adelantamiento
					#reparto por sentido



3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación posee un enfoque CUANTITATIVO: “Un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno, el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio; donde cada etapa precede a la siguiente”

Según (Hernandez Sampieri, 2014) en el enfoque cuantitativo, el investigador utiliza sus diseños para analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular o para aportar evidencias respecto de los lineamientos de investigación (si es que no se tiene hipótesis)

Se sugiere que se comience en este tipo de investigación con estudios que se basen en un solo diseño y luego desarrollar indagaciones que impliquen más de uno si es la situación de investigación así lo requiere, utilizar más de un diseño eleva los costos de investigación.

Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Hernandez Sampieri, 2014)

3.1.2. Nivel o alcance de Investigación

La investigación es de nivel CORRELACIONAL: “Asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población.”

Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.

El Estudio correlacional Asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

Mediante la Metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2010) se determinará cual es la relación entre la Velocidad Media de Recorrido (VMR), el Porcentaje de Tiempo de Seguimiento (PTS) con Capacidad y Nivel de Servicio en el tramo Arco Tica tica-Izcuchaca, según la clase de carretera que corresponda.



3.1.3. Método de Investigación

El método de la investigación es *deductivo* porque se basa en plantear un problema de investigación definiendo su objetivo y su pregunta (lo que quiere hacer y lo que quiere saber). En este método se relacionará las variables mediante una vía primera de inferencias lógico deductivo para arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis y que después se puedan comprobar experimentalmente (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

El diseño del presente estudio es NO EXPERIMENTAL-LONGITUDINAL

La investigación no experimental “se refiere a los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos”.

Un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Además, es *longitudinal*: “Estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos.”

Entonces disponemos de los **diseños longitudinales**, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

3.2.2. Diseño de ingeniería

La presente investigación consta básicamente de tres etapas fundamentales:

En la primera etapa se realizó la recopilación de datos, y su debido procesamiento, evaluando así las características del tramo Arco Tica tica-Izcuchaca de la carretera nacional PE-3S (longitud del tramo, pendiente longitudinal, aforo vehicular, longitud de zonas de no

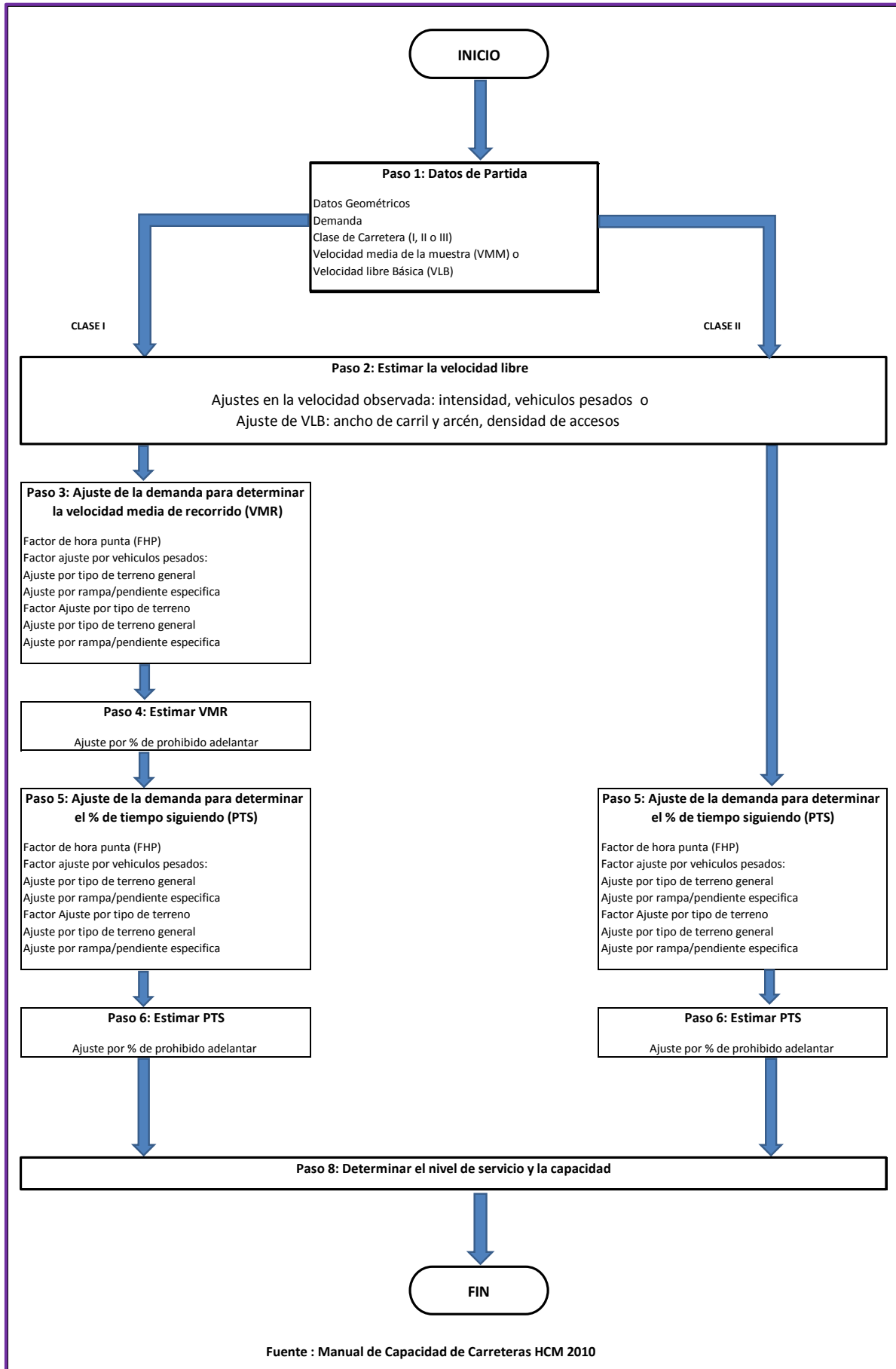


adelantamiento, recolección de datos de velocidades y clasificación de clase de carretera según HCM 2010)

En la segunda etapa, se realiza el procesamiento de datos en los formatos finales (Formato para flujo vehicular, Formato de toma de velocidades, Formato de recolección de datos (coordenadas UTM, cotas, progresivas y pendientes longitudinales, Formato de recolección de datos de coordenadas UTM de ZNA) necesarios para corroborar la hipótesis planteada, sobre si la Velocidad Media de Recorrido y Porcentaje de Tiempo de Seguimiento modifican el Nivel de Servicio y Capacidad Vial en la Carretera Nacional PE-3S tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca .

La tercera etapa consta del análisis de los datos e interpretación de los resultados obtenidos. Se observa en la **Figura 20**, el diseño de ingeniería.

Figura 20: Flujoograma del tema de investigación





3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

“Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones” (Levin, 1996)

La primera población del presente trabajo de investigación comprende el tramo de vía desde el Arco Tica tica (provincia del Cusco) hasta la entrada a Izcuchaca (provincia de Anta) que según el DS 017-2007 “Clasificador de Rutas” constituye la Carretera Nacional PE-3S o longitudinal de la sierra sur, pavimentada en su totalidad.

La segunda población del presente trabajo de investigación comprende los vehículos pesados, ligeros que circulan por el tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La primera población de la presente investigación, comprende un total de 16.660 km. correspondiente a la carretera nacional PE-3S, cuyo recorrido está comprendido entre las provincias de Cusco y Anta. Considerándose dos clases de carretera (clase I y clase II) de acuerdo a la clasificación de carreteras HCM 2010.

La segunda población del presente trabajo de investigación comprende la cantidad de vehículos pesados, ligeros que circulan por el tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población.



La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

La muestra determinada para la presente investigación comprende 66 segmentos que presentan características particulares donde se analiza de acuerdo a:

- Demanda
- Tipo de terreno
- Sentido
- Clasificación de carretera

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La primera muestra está comprendida por el tramo de la carretera descrita anteriormente desde la progresiva 0+000 (Arco tica tica) a la progresiva 16+660 (Izcuchaca) haciendo un total de 16660 m.

La primera muestra se cuantifica de la siguiente forma:

Figura 21: Muestra 01 (sentido Arco Tica Tica-Izcuchaca)

SENTIDO ARCO TICA TICA - IZCUCHACA				
SEGMENTO	PROGRESIVA		LONGITUD	L (min)
	INICIAL	FINAL		
S-1	0	1100	1100	0.68
S-3	1100	1580	480	0.30
S-5	1580	2640	1060	0.66
S-7	2640	2840	200	0.12
S-9	2840	3460	620	0.39
S-11	3460	3620	160	0.10
S-13	3620	5340	1720	1.07
S-15	5340	5880	540	0.34
S-17	5880	6140	260	0.16
S-19	6140	6710	570	0.35
S-21	6710	6860	150	0.09
S-23	6860	7240	380	0.24
S-25	7240	7600	360	0.22
S-27	7600	7980	380	0.24
S-29	7980	8320	340	0.21
S-31	8320	9340	1020	0.63
S-33	9340	9740	400	0.25
S-35	9740	10080	340	0.21
S-37	10080	10400	320	0.20
S-39	10400	10940	540	0.34
S-41	10940	11360	420	0.26
S-43	11360	11780	420	0.26
S-45	11780	12080	300	0.19
S-47	12080	12480	400	0.25
S-49	12480	13000	520	0.32
S-51	13000	13460	460	0.29
S-53	13460	14040	580	0.36
S-55	14040	14520	480	0.30
S-57	14520	14880	360	0.22
S-59	14880	15100	220	0.14
S-61	15100	15460	360	0.22
S-63	15460	15900	440	0.27
S-65	15900	16660	760	0.47

Fuente: Propia

Figura 22: Muestra 01 (sentido Izcuchaca- Arco Tica Tica)

SENTIDO ARCO IZCUCHACA - ARCO TICA TICA				
SEGMENTO	PROGRESIVA		LONGITUD	L (min)
	INICIAL	FINAL		
S-2	0	1100	1100	0.68
S-4	1100	1580	480	0.30
S-6	1580	2640	1060	0.66
S-8	2640	2840	200	0.12
S-10	2840	3460	620	0.39
S-12	3460	3620	160	0.10
S-14	3620	5340	1720	1.07
S-16	5340	5880	540	0.34
S-18	5880	6140	260	0.16
S-20	6140	6710	570	0.35
S-22	6710	6860	150	0.09
S-24	6860	7240	380	0.24
S-26	7240	7600	360	0.22
S-28	7600	7980	380	0.24
S-30	7980	8320	340	0.21
S-32	8320	9340	1020	0.63
S-34	9340	9740	400	0.25
S-36	9740	10080	340	0.21
S-38	10080	10400	320	0.20
S-40	10400	10940	540	0.34
S-42	10940	11360	420	0.26
S-44	11360	11780	420	0.26
S-46	11780	12080	300	0.19
S-48	12080	12480	400	0.25
S-50	12480	13000	520	0.32
S-52	13000	13460	460	0.29
S-54	13460	14040	580	0.36
S-56	14040	14520	480	0.30
S-58	14520	14880	360	0.22
S-60	14880	15100	220	0.14
S-62	15100	15460	360	0.22
S-64	15460	15900	440	0.27
S-66	15900	16660	760	0.47

Fuente: Propia



La muestra 02 del presente trabajo de investigación comprende la demanda en hora punta (veh /15 min) en el tramo Arco Tica Tica-Izcuchaca.

Figura 23: Muestra 02 (sentido Arco Tica tica- Izcuchaca)

SENTIDO ARCO TICA TICA - IZCUCHACA			
SEGMENTO	PROGRESIVA		DEMANDA (veh/h)
	INICIAL	FINAL	
S-1	0	1100	832.80
S-3	1100	1580	832.80
S-5	1580	2640	777.60
S-7	2640	2840	777.60
S-9	2840	3460	778.00
S-11	3460	3620	778.00
S-13	3620	5340	778.00
S-15	5340	5880	670.00
S-17	5880	6140	669.60
S-19	6140	6710	669.60
S-21	6710	6860	302.00
S-23	6860	7240	302.00
S-25	7240	7600	302.00
S-27	7600	7980	302.00
S-29	7980	8320	302.00
S-31	8320	9340	302.00
S-33	9340	9740	451.20
S-35	9740	10080	451.20
S-37	10080	10400	451.20
S-39	10400	10940	451.20
S-41	10940	11360	451.20
S-43	11360	11780	451.00
S-45	11780	12080	451.00
S-47	12080	12480	451.00
S-49	12480	13000	451.00
S-51	13000	13460	446.00
S-53	13460	14040	446.00
S-55	14040	14520	446.00
S-57	14520	14880	446.00
S-59	14880	15100	446.00
S-61	15100	15460	446.00
S-63	15460	15900	446.00
S-65	15900	16660	446.00

Fuente: Propia

Figura 24: Muestra 01 (sentido Izcuchaca- Arco Tica tica)

SENTIDO ARCO IZCUCHACA - ARCO TICA TICA			
SEGMENTO	PROGRESIVA		DEMANDA (veh/h)
	INICIAL	FINAL	
S-2	0	1100	555.20
S-4	1100	1580	555.20
S-6	1580	2640	518.40
S-8	2640	2840	518.40
S-10	2840	3460	518.00
S-12	3460	3620	518.00
S-14	3620	5340	518.00
S-16	5340	5880	446.00
S-18	5880	6140	446.40
S-20	6140	6710	446.40
S-22	6710	6860	302.00
S-24	6860	7240	302.00
S-26	7240	7600	302.00
S-28	7600	7980	302.00
S-30	7980	8320	302.00
S-32	8320	9340	302.00
S-34	9340	9740	300.80
S-36	9740	10080	300.80
S-38	10080	10400	300.80
S-40	10400	10940	300.80
S-42	10940	11360	300.80
S-44	11360	11780	301.00
S-46	11780	12080	301.00
S-48	12080	12480	301.00
S-50	12480	13000	301.00
S-52	13000	13460	298.00
S-54	13460	14040	298.00
S-56	14040	14520	298.00
S-58	14520	14880	298.00
S-60	14880	15100	298.00
S-62	15100	15460	298.00
S-64	15460	15900	298.00
S-66	15900	16660	298.00

Fuente: Propia



3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo empleado es el “no probabilístico”, debido a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Para la presente investigación la selección del tramo de carretera se realizó en función a las características que especifica el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). Además, la muestra no se obtiene de forma aleatoria, sino que se basa en parte, en el juicio del responsable de la investigación.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Para la evaluación de la siguiente investigación se escogió la infraestructura vial Arco Tica Tica – Izcuchaca debido a su gran importancia logística por la gran demanda vehicular que existe en la zona, donde se utilizó el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010) y Manual de Clasificador de Rutas.

3.3.3. Criterios de inclusión

- ❖ En el tramo Arco Tica Tica – Izcuchaca de la carretera nacional PE-3S, según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), se identifican los segmentos a analizar de acuerdo a los puntos donde se produzcan cambios en los siguientes aspectos
 - Demanda
 - Tipo de terreno
 - Sentido
 - Clasificación de carretera
- ❖ Según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), el estudio se realiza en hora punta.
- ❖ Según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), aplica su metodología para carreteras de dos carriles con sentidos diferentes.

- ❖ Según la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), estable que la carretera debe ser pavimentadas en su totalidad.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos

Los instrumentos metodológicos usados en la presente tesis fueron formatos de fichas de recolección de datos en campo.

3.4.1.1. Guías de observación de campo

Formato de conteo vehicular

En la guía de observación (obsérvese **Figura 25**) indica el número de vehículos que transitan en la vía.

Figura 25: Formato de conteo vehicular

"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO, SEGÚN MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010) EN LA VÍA PE-3S TRAMO ARCO TICA TICA-IZCUCHACA"																								
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO														
ALUMNOS : MARIO ESSLER CUENTAS CARDENAS JULIO CESARAYALA CUSHUALLPA																								
TRAMO: Formato Para el Flujo Vehicular-Fuente Propia										DIA : _____ FECHA: _____														
SENTIDO DE LA VIA : _____										CARRIL : _____														
HORA	VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS														VEHICULOS TOTALES	CAMIONES	RVs	% CAMIONES	% RVs
	MOTO	AUTO	PICK UP	COMBI	RVs	OMNIBUS			CAMIONES			SEMITRAILER				TRAYLER								
						BUS 2E	BUS 3E	BUS 4E	C2E	C3E	C4E	2S2	2S3	3S2	>>3S3	2T2	2T3	3T2	>>3T3					


Fuente: Propia

Formato de recolección de velocidades

En la guía de observación (**Figura 26**) indica la velocidad de cada vehículo que transita por la vía considerando 110 vehículos para el análisis.


Figura 26: Formato de recolección de velocidades

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO, SEGÚN MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010) EN LA VÍA PE-3S TRAMO ARCO TICA TICA-IZCUCHACA
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ALUMNOS : **MARIO ESELENDER CUENTAS CARDENAS**
JULIO CESARAYALA CUSIHUALLPA



DIA :
FECHA :

FORMATO DE TOMA DE VELOCIDADES - FUENTE PROPIA

PRIMERA TOMA DE VELOCIDAD						SEGUNDA TOMA DE VELOCIDAD						TERCERA TOMA DE VELOCIDAD					
ONDULADO			ONDULADO			PLANO			PLANO			RAMPA ESPECIFICA			RAMPA ESPECIFICA		
SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA			SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA			SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA		
N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h
1			1			1			1			1			1		
2			2			2			2			2			2		
3			3			3			3			3			3		
4			4			4			4			4			4		
5			5			5			5			5			5		
6			6			6			6			6			6		
7			7			7			7			7			7		
8			8			8			8			8			8		
9			9			9			9			9			9		
10			10			10			10			10			10		
11			11			11			11			11			11		
12			12			12			12			12			12		
13			13			13			13			13			13		
14			14			14			14			14			14		
15			15			15			15			15			15		
16			16			16			16			16			16		
17			17			17			17			17			17		
18			18			18			18			18			18		
19			19			19			19			19			19		
20			20			20			20			20			20		
21			21			21			21			21			21		
22			22			22			22			22			22		
23			23			23			23			23			23		
24			24			24			24			24			24		
25			25			25			25			25			25		
26			26			26			26			26			26		
27			27			27			27			27			27		
28			28			28			28			28			28		
29			29			29			29			29			29		
30			30			30			30			30			30		
31			31			31			31			31			31		
32			32			32			32			32			32		
33			33			33			33			33			33		
34			34			34			34			34			34		
35			35			35			35			35			35		
36			36			36			36			36			36		
37			37			37			37			37			37		
38			38			38			38			38			38		
39			39			39			39			39			39		
40			40			40			40			40			40		
41			41			41			41			41			41		
42			42			42			42			42			42		
43			43			43			43			43			43		
44			44			44			44			44			44		
45			45			45			45			45			45		
46			46			46			46			46			46		
47			47			47			47			47			47		
48			48			48			48			48			48		
49			49			49			49			49			49		
50			50			50			50			50			50		
VMM =			VMM =			VMM =			VMM =			VMM =			VMM =		
SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA			SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA			SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA		

Fuente: Propia



3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Los instrumentos de ingeniería utilizados en la presente tesis, son los equipos y herramientas utilizadas en campo para la recolección de datos y que se presentan a continuación.

- Estación total y prismas.
- Trípode estación total
- GPS
- Cámara fotográfica
- Cámara filmadora y trípode de filmadora
- Laptop
- Software de ingeniería
- Camioneta
- Cinta métrica
- Equipos de seguridad (chalecos reflectivos, conos de seguridad, pancarta, casco)
- Pistola radar de Bushnell (determinación de velocidad vehicular en campo)

Figura 29: Instrumentos de Ingeniería



Fuente: Google Imágenes

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

3.5.1. Características geométricas

3.5.1.1. Delimitación de progresivas, cotas y ancho de carretera

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de las progresivas y las cotas en el tramo de estudio, se utilizaron los siguientes equipos y herramientas.

- Estación, prisma y trípode
- GPS
- Wincha (50 m.)

Procedimiento y tomas de datos

Con ayuda de la wincha se midió el ancho de carretera obteniendo una longitud de 7 m. medida constante durante todo el tramo en estudio.

Se generó el alineamiento mediante la ubicación de las progresivas usando el cartaboneo de la longitud cada 20 m.

Para el primero tramo (Arco Tica tica – desvío Urubamba) se utilizó la estación total para determinar las coordenadas de cada punto, en el siguiente tramo (desvío Urubamba – Izcuchaca) se utilizó GPS.

Figura 30: Delimitación de progresiva KM04+000



Fuente: Propia

Figura 31: Delimitación de progresiva KM06+680



Fuente: Propia

3.5.1.2. Determinación de pendientes longitudinales del tramo

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de las pendientes longitudinales del tramo Arco Tica Tica – Izcuchaca se utilizó una estación total con apoyo de un GPS.

Procedimiento y toma de datos

Para hallar las pendientes longitudinales se consideraron puntos cada 20 m. a lo largo de toda la carretera, hallando la diferencia de nivel entre cada punto sucesivo.

Resumen de pendientes longitudinales

Se hallaron las siguientes pendientes longitudinales de acuerdo a las dos clases de carretera:

CLASE I: Se obtuvo una pendiente máxima de 4.26%, y una pendiente mínima de 1.68%.

CLASE II: Se obtuvo una pendiente máxima de 4.70%, y una pendiente mínima de 0.56%.

**Desnivel entre el tramo de carretera Arco Tica tica - Izcuchaca**

El primer punto considerado en el sector denominado Arco Tica tica se encuentra en la cota 3699.86 m.s.n.m. y la localidad de Izcuchaca se encuentra en la cota 3335.97 m.s.n.m. Por lo cual existe un desnivel de 363.89 m. Teniendo como punto más alto el Arco Tica tica y como punto más bajo la localidad de Izcuchaca.

3.5.1.3. Determinación de inicio y fin de zonas de no adelantamiento**Equipos y herramientas utilizadas**

Para la determinación de las zonas de no adelantamiento del tramo Arco Tica tica - Izcuchaca, se realizó mediante el uso del GPS para la ubicación de inicio y final de los tramos de zonas de no adelantamiento.

Procedimiento y toma de datos

Para la medición del porcentaje de zonas de no adelantamiento primero se subió información data al GOOGLE EARTH, para determinar las progresivas, obteniendo las progresivas después se sube al Software Excel en el perfil de tramo de ambos sentidos, de esta manera se obtendrá los porcentajes de zonas de no adelantamiento.

Figura 32: Inicio y Fin de Zonas de No Adelantamiento de acuerdo al GPS


"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO, SEGÚN MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010) EN LA VÍA PE-3S TRAMO ARCO TICA TICA-IZCUCHACA"

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ALUMNOS: **AYALA CUSIHUALLPA, JULIO CESAR**
CUENTAS CARDENAS, MARIO ESLENDER



FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS DE COORDENADAS UTM de ZNA - FUENTE PROPIA

DIA: _____
FECHA: _____

SENTIDO ARCO TICA TICA - IZCUCHACA						SENTIDO IZCUCHACA - ARCO TICA TICA					
INICIO		PROGRESIVA	FIN		PROGRESIVA	INICIO		PROGRESIVA	FIN		PROGRESIVA
X	Y		X	Y		X	Y		X	Y	
824040.42	8504760.24		821230.00	8505737.00		824039.00	8504756.00		821189.00	8505756.00	
820791.00	8505967.00		818322.00	8506788.00		820759.00	8505984.00		818263.00	8506784.00	
817690.00	8506956.00		817607.00	8506999.00		817643.00	8506973.00		817559.00	8507018.00	
816834.00	8507315.00		816385.00	8507528.00		816794.00	8507332.00		816340.00	8507547.00	
816043.00	8507677.00		815883.00	8507749.00		816005.00	8507693.00		815842.00	8507763.00	
815333.00	8507921.00		815253.00	8507948.00		815282.00	8507932.00		815211.00	8507957.00	
814648.00	8508075.00		814365.00	8508119.00		814605.00	8508087.00		814321.00	8508113.00	
814005.00	8508050.00		813939.00	8508044.00		813963.00	8508043.00		813895.00	8508029.00	
813520.00	8507876.00		813380.00	8507828.00		813479.00	8507860.00		813331.00	8507828.00	
813046.00	8507791.00		811832.00	8508280.00		813002.00	8507794.00		811785.00	8508283.00	
811146.00	8508380.00		809924.00	8509312.00		811094.00	8508394.00		809924.00	8509312.00	

Fuente: Propia

Figura 33: Inicio de Zonas de No Adelantamiento



Fuente: Propia

Figura 34: Fin de Zonas de No Adelantamiento



Fuente: Propia

3.5.2. Toma de velocidades

Equipos y herramientas utilizadas

Para la determinación de la velocidad media de la muestra (VMM), se utilizó los siguientes equipos y herramientas:

- Guía de observación *Figura 35*
- Pistola radar de Bushnel

Procedimiento y toma de datos

- En primer lugar, se ubicaron tres puntos referenciales divididos de acuerdo a los tipos de terreno plano, ondulado y rampa específica. En cada punto con ayuda de la pistola radar de buhsnell se tomó la velocidad de 110 vehículos ya que el HCM 2010 recomienda considerar un mínimo de 100 vehículos por cada sentido, luego cada valor obtenido fue registrado en la guía correspondiente.
- En las tablas siguientes (*Tabla 09, 10, 11*) se muestran la recopilación de velocidades en el tramo de carretera Arco Tica Tica – Izcuchaca.



Tabla 9: Ficha de Observación-Terreno Ondulado

PRIMERA TOMA DE VELOCIDAD					
ONDULADO					
SENTIDO : TICA TICA-IZCUCHACA			SENTIDO : IZCUCHACA-TICA TICA		
N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h	N°	VELOCIDAD Km/h	VELOCIDAD Mi/h
1	84	52.20	1	81	50.33
2	81	50.33	2	82	50.95
3	82	50.95	3	82	50.95
4	37	22.99	4	78	48.47
5	84	52.20	5	78	48.47
6	83	51.57	6	86	53.44
7	85	52.82	7	41	25.48
8	82	50.95	8	74	45.98
9	79	49.09	9	81	50.33
10	38	23.61	10	83	51.57
11	77	47.85	11	85	52.82
12	80	49.71	12	37	22.99
13	74	45.98	13	69	42.87
14	85	52.82	14	73	45.36
15	77	47.85	15	75	46.60
16	84	52.20	16	75	46.60
17	33	20.51	17	30	18.64
18	88	54.68	18	80	49.71
19	78	48.47	19	73	45.36
20	85	52.82	20	74	45.98
21	74	45.98	21	78	48.47
22	83	51.57	22	75	46.60
23	85	52.82	23	85	52.82
24	81	50.33	24	87	54.06
25	88	54.68	25	73	45.36
26	85	52.82	26	39	24.23
27	84	52.20	27	75	46.60
28	85	52.82	28	80	49.71
29	37	22.99	29	83	51.57
30	83	51.57	30	85	52.82
31	85	52.82	31	34	21.13
32	88	54.68	32	74	45.98
33	79	49.09	33	81	50.33
34	38	23.61	34	38	23.61
35	85	52.82	35	75	46.60