

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE DIPLOMA

*“APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE
CARRETERAS (HCM), PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL
DE SERVICIO EN EL TRAMO DE CARRETERA RURAL DE
DOS CARRILES SANTA CLARA-UNIVERSIDAD”*

Diplomante: Patricia Milagros García Castañeda

Tutor: Ing. Luis Enrique Gálvez Herrera

Consultante: Dr. Ing. René Depestre

Santa Clara

2016

“... El camino es largo, el camino es difícil, el camino es duro; se requiere ir aprovechando los errores, se requiere la crítica, la autocrítica, el reconocimiento honrado de cualquier error, para rectificar, para invertir mejor los recursos...”

Fidel Castro Ruz

A mis padres que con su ejemplo me han enseñado el camino a seguir.

A mi hermano por llenarme la vida de alegría.

A mi primo por confiar siempre en mí.

A mis tíos por el apoyo durante toda mi vida.

A mis abuelos del alma.

A mi familia por la preocupación, amor y haber sido partícipe en la realización de este sueño.

A Yuneisy por su apoyo y su consejo oportuno.

A Odalys y Jessica por su comprensión y dedicación.

A Yanet, Arasay, Sury y Eva por habernos mantenido unidas durante los cinco años y haber compartido los buenos y malos momentos.

A mis tutores por brindarme sus conocimientos y por la ayuda durante la realización de este proyecto.

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron e hicieron posible el logro de esta meta.

A todos,

¡Gracias!

RESUMEN

En el presente estudio se realiza un análisis de la carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas, en el tramo Circunvalación-Universidad; debido al aumento de la circulación vehicular que viene teniendo dicha vía, producto del incremento de la población en la zona rural, al mismo tiempo porque constituye la principal forma de acceso al polo turístico Cayo Santa María; y a la variedad de vehículos que circulan por dicha carretera. Con el fin de determinar la calidad del nivel de servicio que la vía ofrece a los usuarios se aplicó la metodología propuesta en el Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM versión 2000), realizando el cálculo de este tanto por el método manual como por el computarizado, obviando en este último la existencia de bicicletas, VTA y motores, los cuales son propios de las condiciones del tránsito cubano.

Palabras claves: Nivel de servicio, HCM versión 2000, condiciones del tránsito.

ABSTRACT:

In the present study an analysis of the Santa Clara-Entronque de Vueltas road, the stretch is performed Beltway-University; due to increased vehicular traffic that has taken this route, due to the increase of the population in rural areas, at the same time because it is the main form of access to the tourist resort Cayo Santa Maria; and the variety of vehicles traveling on this road. In order to determine the quality of service level that the path offers users the methodology proposed in the Highway Capacity Manual 2000 version (HCM version 2000) was applied, making the calculation of this therefore the manual method and by the computer obviating in the latter the existence of bikes, ATVs and engines, which are typical of Cuban traffic conditions.

Keywords: Service level, HCM version 2000, traffic conditions.

ÍNDICE:

INTRODUCCIÓN:.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE NIVEL DE SERVICIO	7
1.1. Aspectos fundamentales.....	7
1.1.1. Capacidad	7
1.1.2. Nivel de servicio	9
1.2. Factores que afectan la capacidad y los niveles de servicio	11
1.2.1. Condiciones de la vía o infraestructura y características geométricas	11
1.2.2. Condiciones del tránsito	14
1.2.3. Condiciones de control	16
1.3. Condiciones ideales.....	16
1.4. Criterios de análisis de la capacidad y el nivel de servicio	17
1.5. Métodos para estimar las capacidades y niveles de servicio en carreteras	20
1.5.1. Modelo británico	20
1.5.2. Colombia	21
1.5.3. México.....	21
1.5.4. España	22
1.5.5. Cuba.....	22
1.5.6. Estados Unidos	22
1.6. Conclusiones parciales.....	25
CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN UN TRAMO DE CARRETERA RURAL DE DOS CARRILES.....	26
2.1. Generalidades	26
2.2. Tramificación de la vía.....	27
2.3. Selección de los segmentos del tramo a analizar	27
2.4. Determinación de las características del diseño geométrico.....	27
2.5. Establecimiento de las condiciones del tránsito	30
2.6. Metodología establecida en el HCM versión 2000 para la evaluación del NS en un tramo de carretera rural de dos carriles de circulación	31
2.7. Aplicación del Highway Capacity Software (HCS).....	47
2.8. Conclusiones parciales.....	48
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	49
3.1. Tramificación de la carretera	49
3.2. Segmentos del tramo a analizar	50

3.3. Tramo 1: Circunvalación-Escuela Profesional de Arte "Samuel Feijoo"	50
3.3.1. Características geométricas	50
3.3.2. Condiciones del tránsito	50
3.3.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación.....	53
3.3.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS ..	55
3.3.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000	56
3.4. Tramo 2: Escuela Profesional de Arte "Samuel Feijoo"-Cmdte. "Manuel Fajardo" ..	57
3.4.1. Características geométricas	57
3.4.2. Condiciones del tránsito	57
3.4.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación.....	60
3.4.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS ..	61
3.4.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000	63
3.5. Tramo 3: Cmdte. "Manuel Fajardo"-Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas 63	
3.5.1. Características geométricas	63
3.5.2. Condiciones del tránsito	63
3.5.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación.....	66
3.5.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS ..	68
3.5.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000	69
3.6. Análisis de los resultados	69
3.7. Conclusiones parciales	70
CONCLUSIONES GENERALES	71
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	75
Anexo 1: Aforo vehicular	75
Anexo 2: Estudios de velocidad.....	85
Anexo 3: Accesos a la carretera.....	90

INTRODUCCIÓN:

Desde los antiguos tiempos donde los mesopotámicos unos de los primeros constructores de carreteras (unos 3500 a.C.) hacían sus caminos, hasta la actualidad; la construcción de carreteras se ha convertido en una parte esencial en el desarrollo de los pueblos ya que con ellas los diferentes procesos de comercialización y transporte se han incrementado; y debido a este incremento ha surgido la necesidad de saber si la calidad del servicio que aportan las carreteras son lo suficientemente capaces de soportar la afluencia vehicular a la que están sometidas (Martínez Aldeán, 2014).

El nivel de servicio es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de carretera (Palma Álvarez, 2006). Este concepto se utiliza para medir la calidad del flujo vehicular, que es el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, por tanto el nivel de servicio no es más que una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

Para la determinación del nivel de servicio es necesario la realización de estudios, que permitan evaluar la suficiencia y la calidad del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda) (Gigena, 2008).

La demanda vehicular es la cantidad de vehículos que requieren desplazarse por un determinado sistema u oferta vial (Ordóñez Moss, 2009).

La oferta vial, representa la cantidad máxima de vehículos que finalmente pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico (Ordóñez Moss, 2009)

Una corriente de tránsito funciona aceptablemente bien cuando el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular presente (demanda), sin demoras excesivas para los usuarios (Martínez Aldeán, 2014).

Cuando los valores de flujo vehiculares están muy próximos a los de capacidad, se llega a la capacidad del sistema y el tránsito se torna inestable y se puede llegar a la congestión. Si los flujos vehiculares son superiores a la capacidad, representan condiciones de operación forzada, que pueden llegar a detenciones frecuentes del tránsito y grandes demoras. Cuando los flujos vehiculares son inferiores a la capacidad, el flujo será no saturado y los niveles de operación variarán de excelentes a aceptables. El flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad (Gigena, 2008).

El procedimiento de análisis para carreteras de dos carriles está contenido en el Highway Capacity Manual (HCM 2000, por sus siglas en inglés), Manual de Capacidad de Carreteras versión 2000, HCM versión 2000 de aquí en adelante editado por el Transportation Research Board de los Estados Unidos, el cual define a una carretera de dos carriles como una calzada que tiene un carril para cada sentido de circulación. El adelantamiento a vehículos más lentos requiere utilizar el carril del sentido opuesto siempre que la distancia de visibilidad y los intervalos de circulación en sentido opuesto lo permitan. A medida que aumenta la intensidad de circulación y/o las restricciones geométricas, disminuye la posibilidad de adelantar, dando lugar a la formación de columnas en la circulación.

La demora manifestada por la formación de columnas de vehículos, y la utilización de la capacidad son las medidas más representativas de la calidad del servicio en las vías de dos carriles (Cerquera Escobar, 2007).

En Cuba la mayoría de las carreteras rurales de dos carriles fueron construidas antes del triunfo de la revolución en enero de 1959, estas se diseñaron para un flujo vehicular inferior al que están sometidas en la actualidad; la vía objeto de estudio Santa Clara-Entronque de Vuelta, específicamente el tramo Circunvalación-Universidad, presenta el mismo conflicto ya que fue construida en 1952.

Entre las problemáticas fundamentales que afectan la calidad del nivel del servicio que la vía presta al usuario está el desarrollo que ha experimentado el vehículo de motor en los últimos tiempos, en cuanto a sus dimensiones, potencia, velocidad y comodidad. El incremento de la motorización ha contribuido al incremento del tráfico y a las variaciones de la calidad del nivel de servicio.

El auge que han tenido centros de trabajo y escolares provocan un aumento del tránsito en el área tal es el caso de la Región Militar de la provincia de Villa Clara, la textilera, el Instituto Pre-Universitario de Ciencias Exactas (IPVCE), la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), la Escuela Profesional de Arte "Samuel Feijó" (EPA) y la escuela Cmdte. "Manuel Fajardo"; los cuales generan un gran traslado de personal, tanto de trabajadores como estudiantes a las distintas horas del día.

El aumento de la población en la zona rural en busca de tierra para el cultivo y el criadero de ganado vacuno y porcino, ha propiciado la circulación de vehículos de tracción animal, tractores y ciclos, los cuales obstruyen el paso de los autos por su lenta velocidad de

circulación dando lugar a colas por la imposibilidad de adelantar debido a la distancia de visibilidad y los intervalos de circulación.

La carretera en análisis se encuentra en el circuito Santa Clara-Camajuaní-Remedios-Caibarién y la cayería del Noreste que es la principal forma de acceso al polo turístico Cayo Santa María que se ubica al norte de la provincia de Villa Clara, que posee un recorrido total de 110 km, de los cuales 6 km son analizados en el presente trabajo. Esto ha traído consigo un aumento del tráfico por carretera ya sea por la transportación de los turistas hacia el Cayo Santa María, la transportación de los trabajadores debido a la cantidad de empleos que genera, la transportación de suministros o por el recorrido que se les hace a los turistas por las distintas ciudades.

El análisis que se lleva a cabo en el presente investigación no se realiza solamente como una problemática actual, sino que debe ser analizado además con vista al tráfico futuro, ya que el turismo se incrementó en un 20% en el 2015, y se espera el gradual aumento en los próximos años, por tal motivo se continúa desarrollando el polo turístico de la Cayería Norte, lo cual va a generar un aumento significativo del número de viajes por los motivos antes mencionados.

En Cuba la determinación del nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles de circulación no se realiza sistemáticamente ni con los requerimientos técnicos adecuados, de aquí la necesidad de aplicar técnicas más actualizadas con el fin de evaluar el nivel de servicio en el tramo objeto de estudio.

Problema científico:

¿Cómo evaluar la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad en la provincia de Villa Clara, aplicando el Manual de Capacidad de Carretera a las condiciones cubanas?

El **objeto de estudio** de la presente investigación es el nivel de servicio en las carreteras, el **campo de acción** son las carreteras rurales de dos carriles.

Objetivo general:

Evaluar la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad en la provincia de Villa Clara, al aplicar el Manual de Capacidad de Carreteras.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar el nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles en América.

2. Analizar las características geométricas, del tránsito y la velocidad en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad.
3. Aplicar la metodología existente en el Manual de Capacidad de Carreteras, para la determinación de la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad.
4. Analizar los resultados de los niveles de servicio obtenidos al aplicar el Manual de Capacidad de Carreteras al tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad.

Hipótesis:

La aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras garantiza evaluar la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad, para conocer si el sistema tiene la suficiente capacidad para alojar el flujo vehicular presente.

Tareas científicas:

1. Búsqueda, revisión y análisis de la bibliografía que permita conocer el estado del arte de la temática.
2. División del tramo objeto de estudio de acuerdo a la caracterización del tramo de carretera rural de dos carriles.
3. Determinación de las características geométricas de los distintos segmentos del tramo a analizar a través de los trabajos de campo.
4. Realización de los aforos vehiculares para la determinación de las características del tránsito.
5. Ejecución de los estudios de velocidad.
6. Aplicación de la metodología existente en el Manual de Capacidad de Carreteras versión 2000 para la determinación del nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles.
7. Aplicación del Programa de Capacidad Vial (HCS) que ejecuta con precisión, los procedimientos del Manual de Capacidad de Carreteras en la computadora, de manera rápida.
8. Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad.

La **novedad científica** del trabajo está dada por la inexistencia en la Ingeniería del Tránsito, de estudios precedentes en determinar la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera

rural de dos carriles Circunvalación-Universidad, teniendo en cuenta la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carretera versión 2000.

La **importancia** de la tesis en el campo de la Ingeniería del Tránsito, consiste en que permite identificar las principales características que influyen en la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación-Universidad. El **aporte práctico** reside en que constituye una herramienta de consulta para la explotación de las carreras y contribuye al conocimiento de futuras investigaciones sobre el tema en carreteras rurales de dos carriles.

La **estrategia metodológica** a realizar parte de un enfoque dialéctico materialista como método más general, se aplican una pluralidad de métodos y técnicas, en el orden teórico se encuentra:

- El Histórico-Lógico que permite establecer una periodización en la determinación nivel de servicio de las carreteras rurales de dos carriles y su impacto en el tramo de carretera Circunvalación-Universidad
- El análisis-síntesis para la determinación de los aspectos comunes y distintivos en los enfoques metodológicos estudiados y obtener conclusiones
- La Inducción-Deducción se irá de lo universal en la determinación de la calidad del nivel de servicio a lo particular en su valor en las carreteras rurales de dos carriles en la provincia de Villa Clara, se pasa nuevamente a lo universal para arribar a conclusiones
- El Sistémico-Estructural para analizar la utilización del procedimiento como parte de un sistema que interactúa con la calidad del nivel de servicio en las carreteras rurales de dos carriles

En los métodos empíricos se emplea el análisis de documento a planos y memorias descriptivas, informes de accidentalidad de los años 2013-2015 ocurridos en el tramo de carretera Circunvalación-Universidad, que permitan caracterizar la calidad del nivel de servicio.

En los métodos del nivel matemático y estadístico se encuentra el análisis de la calidad del servicio a partir de las características geométricas, del tránsito y los estudios de velocidad para comparar los resultados en cada tramo de carretera, basados en el Microsoft Office Excel 2010, utilizando diferentes estadígrafos (la media aritmética, la mediana, la moda).

Todos estos métodos posibilitan caracterizar la calidad del nivel de servicio en el tramo de carretera rural de dos carriles Circunvalación–Universidad, teniendo en cuenta lo expuesto en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) versión 2000.

Estructura de los capítulos:

La tesis guarda una estrecha relación con el diseño y la metodología de la investigación establecida. Se encuentra estructurada de la siguiente forma:

- Introducción
- Capítulo I: Estado del conocimiento sobre nivel de servicio
Se realiza una extensa búsqueda bibliográfica relacionada con el tema de esta investigación para conocer los antecedentes y el estado actual del conocimiento del nivel de servicio en carreteras a nivel mundial y sus características operacionales. Aborda metodologías existentes en el mundo para la determinación del nivel de servicio y concluye con una apreciación global de algunas de sus limitaciones.
- Capítulo II: Procedimiento para la evaluación del nivel de servicio en el tramo de carretera rural Circunvalación-Universidad
Se expone el análisis del procedimiento establecido en el HCM versión 2000, para la realización de la investigación científica, la cual consta de varios pasos para lograr la correcta evaluación del nivel de servicio en un tramo de carretera rural de dos carriles de circulación.
- Capítulo III: Aplicación del procedimiento y análisis de los resultados
Se aplica la metodología establecida en el HCM versión 2000, para carreteras rurales de dos carriles de circulación y analizan los efectos que provoca la variación de ciertos parámetros que influyen en la calidad del nivel de servicio que la vía ofrece a los usuarios y se arriba a conclusiones.
- Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos

CAPÍTULO I. ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE NIVEL DE SERVICIO

En este capítulo se realiza una extensa búsqueda bibliográfica relacionada con el tema de esta investigación, para conocer los antecedentes y el estado actual del conocimiento sobre el nivel de servicio en carreteras a nivel mundial y sus características operacionales. El capítulo aborda metodologías existentes en el mundo para la determinación del nivel de servicio y concluye con una apreciación global de algunas de las limitaciones de estos procedimientos. Esta revisión bibliográfica nos permite confirmar la hipótesis del trabajo y establecer la línea de trabajo a seguir.

1.1. Aspectos fundamentales

1.1.1. Capacidad

Un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia (cuantitativo) y la calidad (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda) (Gigena, 2008).

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio ambiente (Cerquera Escobar, 2007).

No puede tratarse la capacidad de un sistema vial sin hacer referencia a otras consideraciones importantes que tiene que ver con la calidad del servicio proporcionado (Thomas Durbin, 2006).

Muchos autores basan sus estudios en la definición de capacidad planteada en el Highway Capacity Manual, versión 2000 (HCM 2000), la cual plantea que "es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis".

Se refiere con condiciones prevalecientes de la carretera a las características geométricas como el número y uso de carriles, ancho de hombro, configuración de carriles y el alineamiento horizontal y vertical (Ordóñez Moss, 2009).

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. Como el volumen de 15 minutos obtenido es convertido a flujo horario, entonces la capacidad de un sistema vial, es el flujo máximo horario (Palma Álvarez, 2006).

El principal objetivo del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad durante un período específico. Sin embargo, los sistemas operan pobremente a capacidad; pero generalmente ellos no se planifican para operar en este rango (Esplugues, 2011).

Mediante los análisis de capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose así el concepto de nivel de servicio (Gigena, 2008).

En Cuba para la realización de estudios de capacidad vial se utiliza el concepto planteado en la NC 53-118-1984, "Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio, para vías de flujo ininterrumpido". Esta norma define como capacidad real el número máximo de vehículos que pueden pasar por una sección de vía en una hora, en un sentido para carreteras de carriles múltiples, o en los dos, para carreteras de dos o tres carriles, tomando en cuenta las condiciones prevalecientes del tránsito y la vía; como capacidad ideal precisa que es el número máximo de vehículos que pueden pasar por una sección de vía en una hora, bajo condiciones ideales de tránsito y vía.

En la siguiente tabla se fijan las capacidades ideales para las carreteras de dos carriles de circulación según el HCM 2000 y la NC 53-118-1984:

Tabla 1.1: Capacidad para condiciones ideales

Tipo de carretera	Capacidad ideal HCM 2000 (vehículos de pasajeros por hora)	Capacidad ideal NC 53-118-1984 (vehículos de pasajeros por hora)
Dos carriles	3 200 total para los dos carriles 1 700 por carril	2 000 total para los dos carriles

1.1.2. Nivel de servicio

El HCM denomina al nivel de servicio como “una medida de calidad que describe las condiciones de funcionamiento dentro de un flujo de tráfico, por lo general en términos de medidas de servicios tales como la velocidad, el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, y la comodidad y conveniencia”.

Para cada tipo de infraestructura se definen seis niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores (Ordóñez Moss, 2009).

Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas de flujo ininterrumpido son las siguientes:

Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente.

Nivel de servicio B

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas, sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

Nivel de servicio C

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Nivel de servicio D

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

Nivel de servicio E

El funcionamiento está en el límite de su capacidad o cerca de él. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a ceder el paso. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

En Cuba para la determinación del nivel de servicio se utiliza la NC 53-118-1984 mencionada anteriormente, esta establece seis niveles de servicio desde el A hasta el F, los cuales abarcan perfectamente las condiciones existentes de operación en cualquier tipo de carretera. A cada nivel de servicio corresponde un volumen de servicio y se da en volúmenes horarios.

Esta NC 53-118-1984 plantea como nivel de servicio cualquiera de las posibles combinaciones de operación que puedan ocurrir sobre una carretera, cuando esta acomoda determinados volúmenes de tránsito.

En la siguiente tabla se fijan las condiciones de operación de los niveles de servicio desde el A hasta el F, para sistemas de flujo ininterrumpido, según el HCM 2000 y la NC 53-118-1984:

Tabla 1.2: Condiciones de operación de los niveles de servicio, para flujo ininterrumpido

Nivel de servicio	Condiciones de operación HCM 2000	Condiciones de operación NC 53-118-1984
A	Flujo libre	Flujo libre
B	Flujo estable	Flujo estable

C	Flujo estable, pero la operación de los usuarios individuales se ve afectada por las interacciones con los otros usuarios	Se mantiene aún en la zona de flujo estable, pero la velocidad y la maniobrabilidad están más controlados por los volúmenes
D	Densidad elevada, aunque estable	Flujo inestable
E	Flujo inestable	Flujo inestable y paradas de duración momentánea
F	Flujo forzado	Flujo forzado

1.2. Factores que afectan la capacidad y los niveles de servicio

Es necesario tener en cuenta el carácter probabilístico de la capacidad, por lo que puede ser mayor o menor en un instante dado. A su vez, como la definición misma lo expresa, la capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar la modifican; éstos se agrupan en tres grupos generales: las condiciones de la infraestructura vial o condiciones geométricas (el tipo de vía, el ancho de carril, el ancho de paseos y despejes laterales, el alineamiento horizontal y vertical); las condiciones del tránsito (el volumen, la composición vehicular, el reparto por sentido de circulación, la velocidad y la densidad); y las condiciones de control.

1.2.1. Condiciones de la vía o infraestructura y características geométricas

Las condiciones que afectan a la vía comprenden las condiciones geométricas y los elementos del proyecto. Estos factores son los siguientes:

- El tipo de vía y donde está ubicada
- El ancho de carril
- El ancho de paseos y los despejes laterales
- El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical

Tipo de vía y donde está ubicada:

Existen diferentes tipos de vías y se clasifican de acuerdo al volumen de tráfico y el número de calzadas requerido en su función jerárquica.

De acuerdo a la jerarquía atribuida en la red, las carreteras deberán ser diseñadas con las características geométricas correspondientes a su clase y construirse por etapas en función del incremento del tráfico (Salazar Córdova, 2015).

- Arterias principales. Son vías que generalmente se utilizan para viajes de amplitud nacional, con altos volúmenes de tránsitos y velocidades de operación.

- ✓ Vías expresas. Vías multicarriles, con pocas intersecciones a niveles, vincula la capital del país y el resto de las capitales provinciales, altos volúmenes de tránsito y velocidad de operación .Tienen controlado totalmente los accesos.
- ✓ Carreteras principales. Proporcionan viajes de amplitud nacional, con mayor interferencia a través del movimiento de carga y pasaje .Penetra dentro de las zonas urbanas, son vías de dos carriles.
- Arterias menores. Viajes entre dos o más provincias no de amplitud nacional, da servicios a lugares habitados y centros económicos, son vías de dos carriles y no tienen el acceso controlado.
- Colectoras .Sirven de viajes intermunicipales, distancias más cortas que en las rutas arteriales, sirven a lugares habitados son de dos carril, dos sentidos sin control de acceso, enlaza lugares habitados, centros económicos con vías de nivel superior.
- Locales: Viajes en distancias cortas de importancia para la localidad sirven para vincular zonas urbanas pueden ser muy accidentadas.

Tabla 1.3: Relación función-clase de carretera-tráfico proyectado

Sistemas funcionales		Tipo	PAVDT	Ancho de calzada
Arteria principal	Vías expresas	-	-	-
	Carreteras principales	I	6000	7,50-7,00
		II	6000-3000	7,00
Arterias menores		II		
		III	3000-1500	6,50
Colectoras		III		
		IV	1500-500	6,00
Locales		IV		
		V	500-100	5,50

Ancho de carril:

Los carriles estrechos fuerzan a los conductores a manejar lateralmente cerca uno de otro, tanto como les sea confortable. Los conductores compensan el manejar confortable reduciendo la velocidad. Esto hace que la capacidad de la carretera decline, así como el nivel de servicio de la misma. Las restricciones laterales al conducir tienen efectos similares (Ordóñez Moss, 2009).

Ancho de paseos y despejes laterales:

Los conductores manejan temerosos cerca de una barrera o talud lateral dentro de la carretera que están lo suficientemente cerca para imponer un riesgo obvio al conductor. Al suceder esto, los conductores se mueven cerca a los vehículos del carril lateral, la compensación normal es manejar más despacio o dejar largas distancias entre los vehículos del mismo carril, lo cual repercute en el nivel de servicio nuevamente de la carretera (Gigena, 2008).

Alineamiento horizontal y vertical:

El alineamiento básico de la carretera, generalmente tiene un impacto en su capacidad o razón de flujo de servicio. Para carreteras de dos carriles, el alineamiento directamente controla las oportunidades de rebasar y puede tener severo impacto en la capacidad (Licuy Tapuy, 2015).

En las versiones anteriores al HCM 2000 se utilizaba la velocidad de diseño como una medida para calcular el alineamiento, pero era difícil aplicar esta medida en las secciones de las carreteras con elementos de alineamiento horizontal y vertical. El HCM 2000 utiliza la velocidad de flujo libre como una medida sustitutiva para el alineamiento. La velocidad no solo refleja el alineamiento vertical y horizontal, sino que también los elementos que cuantifican la dificultad en el tránsito (Cerquera Escobar, 2007).

Curvas:

En el alineamiento horizontal de un tramo de carretera diseñado para una velocidad directriz, un radio mínimo y un peralte máximo, como parámetros básicos, debe evitarse el empleo de curvas de radio mínimo. En general, se deberá tratar de usar curvas de radio amplio, reservando el empleo de radios mínimos para las condiciones más críticas (Salazar Córdova, 2015).

Pendiente:

La combinación de vehículos pesados con el porcentaje de pendiente de la carretera crea un gran impacto. Los vehículos pesados no pueden mantener la misma velocidad que los vehículos livianos sobre una tramo inclinado de la carretera, creando entonces largas brechas en el tránsito, que no pueden ser llenadas con maniobras normales de rebase. Esto sólo sucede en carreteras que no son de dos carriles y tiene repercusión leve en las carreteras multicarriles (Gigena, 2008).

Tramos rectos:

Son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se lo llama PI y al ángulo de deflexión, formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se lo denomina “ α ” (alfa) (Esplugues, 2011).

Las tangentes van unidas entre sí por curvas y la distancia que existe entre el final de la curva anterior y el inicio de la siguiente se la denomina tangente intermedia. Su máxima longitud está condicionada por la seguridad (Nombela, 2009).

En Cuba el análisis de las condiciones geométricas que afectan la capacidad y los niveles de servicio a la hora de realizar los diferentes análisis operacionales, de diseño o proyecto y de planeamiento, no varían con respecto a otros lugares del mundo, ya que siempre en las carreteras aunque se diferencien en cuanto al tipo, el ancho de carril, unas tengan mayor cantidad de curvas, mayor pendientes, o diferentes dimensiones de sección transversal, siempre se va analizar cómo estos factores influyen en la operación del sistema vial a un nivel de servicio deseado tanto a mediano como a largo plazo.

1.2.2. Condiciones del tránsito

Las condiciones del tránsito que influyen en la capacidad y los niveles de servicio son:

- El volumen
- La composición vehicular
- El reparto por sentido de circulación
- La velocidad

Volumen:

Según el HCM el volumen es el número de vehículos que pasan en un determinado punto durante un intervalo de tiempo. La unidad para el volumen es simplemente “vehículos” o “vehículos por unidad de tiempo”.

Para los análisis operacionales, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante el curso de las 24 horas del día. La hora del día que tiene el volumen horario más alto es llamada “hora pico”. Los volúmenes de hora pico son usados como la base para el diseño de carreteras y para varios tipos de análisis operacionales. Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo (Palma Álvarez, 2006).

Composición vehicular:

La característica más importante que afecta la capacidad y el nivel de servicio es la presencia de vehículos pesados dentro del tránsito. Se definen como vehículos pesados aquellos que tienen más de cuatro ruedas sobre el pavimento. Los vehículos pesados se agrupan en tres categorías: camiones, vehículos recreacionales y ómnibus. El efecto de tales vehículos es doble:

- Los vehículos pesados son más largos que un vehículo ligero.
- Los vehículos pesados tienen características de operación generalmente inferiores que los vehículos normales.

Esta última es la más importante ya que los vehículos pesados son incapaces de mantener la misma velocidad que un vehículo normal en un tramo inclinado de la carretera (Cerquera Escobar, 2007).

Reparto por sentido de circulación:

En carreteras de dos carriles donde las maniobras de rebase en una dirección deben ocupar el carril en el flujo opuesto, el flujo de una dirección tiene impacto sobre el flujo en la dirección contraria. La capacidad ideal de 3 200veh/h (en ambas direcciones) está basada sobre la distribución de 50%-50% del tránsito en las dos direcciones. Para cualquier otra distribución direccional, la capacidad decrece, llegando a un valor de 1 700veh/h cuando el tránsito está al 100% en una dirección (Ordóñez Moss, 2009).

Velocidad:

Según el HCM 2000 la velocidad es una razón de movimiento, en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables. La velocidad promedio de viaje se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento (Thomas Durbin, 2006).

En el mundo se han producido avances significativos en el desarrollo del vehículo automotor para el desenvolvimiento económico y social; adelantos en la ciencia y la técnica en función del vehículo incrementan la potencia, la velocidad, la comodidad y capacidades de carga; pero en Cuba todavía existe un atraso significativo en este tema por lo que es de suma importancia analizar estas condiciones del tránsito que afectan significativamente la capacidad y los niveles

de servicio, provocando demoras y bajas velocidades de circulación en la vía. Los límites de velocidad no afectan directamente la capacidad, la cual tiende a ocurrir velocidades relativamente bajas. Sin embargo, afectan la velocidad de flujo libre en una carretera y las características de flujo.

1.2.3. Condiciones de control

En vías para circulación continuas el control y normas pueden afectar significativamente la capacidad y los niveles de servicio, como la justificación de estacionar, las restricciones para el adelantamiento, la prohibición de giros y los sentidos de circulación permitidos. Entre las condiciones de control que afectan la capacidad y los niveles de servicio está:

Señalización:

Las señales de tránsito afectan la capacidad y la calidad de flujo en las cercanías de una intersección con otra carretera. Una señal efectivamente regula que vehículo debe parar en la intersección (Gouvea Campos, 2015).

El uso adecuado de la señalización es fundamental para el funcionamiento eficiente y seguro de cualquier sistema viario. La señalización está compuesta por dos sistemas principales: las señales verticales, formadas por las placas; y las señales horizontales, que son las marcas en el pavimento. Los semáforos y los paneles de mensajes también forman parte de la señalización (Esplugues, 2011).

En Cuba al igual que en el resto del mundo se tienen en cuenta todas las medidas de control de tránsito establecidas ya sean horizontales, verticales y semáforos para garantizar una adecuada seguridad vial y la disminución de accidentes.

1.3. Condiciones ideales

Una condición base o ideal, es una condición óptima estándar específica de referencia, que deberá ser ajustada para tener en cuenta las condiciones prevalecientes (Gigena, 2008).

Las condiciones base asumen buen estado del tiempo, buenas condiciones del pavimento, usuarios familiarizados con el sistema vial y sin impedimentos en el flujo vehicular. Dependiendo del tipo de sistema vial en estudio existe una serie de condiciones base, específica para cada uno de ellos (Cerquera Escobar, 2007).

Las siguientes son las condiciones ideales para infraestructuras de flujo ininterrumpido:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos 50%/50%

- Carriles de no menos de 3,60m
- Una distancia (bermas) de 1,80m entre el borde de la calzada exterior y los obstáculos u objetos adyacentes a la vía o separador
- Velocidad de flujo libre de 100km/h para carreteras multicarriles
- Flujo constituido únicamente por vehículos ligeros, ausencia de vehículos pesados
- Terreno llano
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas
- Visibilidad adecuada para adelantar
- Señalización horizontal y vertical óptima
- Rasante horizontal

En la mayoría de los análisis las condiciones existentes difieren de las condiciones ideales, por lo cual se deben incluir correcciones que reflejen la inexistencia de las condiciones ideales.

En Cuba en la NC 53-118-1984, para el análisis de la capacidad ideal, se plantea tener en cuenta las siguientes condiciones ideales, las cuales no difieren de las planteadas en el HCM 2000 a pesar de que la NC se encuentra obsoleta:

- El flujo es ininterrumpido, libre de interferencias laterales en lo que respecta a vehículos y peatones
- Que en la corriente existen solamente vehículos de pasajeros
- Que los carriles de circulación tengan 3,60m de anchura, paseos adecuados y sin obstrucciones laterales hasta más allá de 1,80m a partir del borde del pavimento
- Que la alineación vertical y horizontal sea satisfactoria para una velocidad promedio de diseño de 112km/h o mayor, y sin distancia de visibilidad restringida para carreteras de dos y tres carriles

1.4. Criterios de análisis de la capacidad y el nivel de servicio

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como el ancho del carril, la distancia libre lateral, el radio de giro, ancho de paseos, las pendientes, etc. (Roess, 2004).

Los factores externos que afectan el nivel de servicio pueden ser medidos a una hora conveniente. En cambio los factores internos, por ser variables, deben ser medidos durante el período de mayor flujo, como por ejemplo el factor de la hora de máxima demanda. El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en ese lapso. Para tomar esto en cuenta, es conveniente determinar la proporción del flujo para un período máximo dentro de la hora de la máxima demanda (Roess, 2004).

Por lo general, no se realizan estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una carretera o calle; lo que se hace es tratar de determinar el nivel de servicio al que funciona cierto tramo, o bien la tasa de flujo admisible dentro de cierto nivel de servicio. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con qué flujos, o volúmenes, y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial (mexicanas).

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo de carretera o calle. Más allá de este nivel se registran condiciones más desfavorables, por ejemplo, con nivel F, pero no aumenta el flujo de servicio, sino que disminuye (Esplugues, 2011).

Tradicionalmente se ha considerado la velocidad como el principal factor usado para identificar el nivel de servicio. Sin embargo, los métodos modernos introducen, además de la velocidad media de recorrido, dos nuevos factores: la densidad para casos de circulación continua y la demora para casos de circulación discontinua (Palma Álvarez, 2006).

En cualquiera de los casos un factor primordial para valorar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial y, por consiguiente, su nivel de servicio, es la relación entre el flujo y la capacidad, ya sea entre el flujo de demanda y la capacidad, o bien la relación entre el flujo de servicio y la capacidad, según el problema específico. En situaciones donde se conoce la demanda y la capacidad y se desea determinar el nivel de servicio, $q = v$ representa el flujo de demanda. En el caso cuando se conoce la capacidad y se especifica un determinado nivel de servicio, $q = v$ representa el flujo de servicio posible con dicho nivel (Martínez Aldeán, 2014).

El análisis que comúnmente se realiza, sirve para determinar el efecto de los factores externos e internos en la capacidad ideal de cierto tramo de carretera o calle, y el flujo de servicio que

corresponde a un nivel de servicio dado. Los estudios de capacidad sirven para aislar y medir esos factores. En general, se ha hecho una clasificación de factores y se ha determinado ciertas relaciones que permiten valorarlos. Se han fijado factores numéricos, determinados empíricamente la mayoría de las veces, que pueden usarse para deducir matemáticamente la capacidad que se tendría, de no existir estos factores (Roess, 2004).

La determinación de estos factores y los procedimientos de análisis están contenidos en los anteriores manuales. Se resalta que el HCM 2000 constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha sobre la capacidad de carreteras y calles, y aunque muchos de los factores pueden corresponder a condiciones específicas de la vialidad en Estados Unidos, se ha utilizado en otros países con resultados muy positivos, y en donde los procedimientos lo han permitido, se ha incorporado información de estudios locales, adaptando el manual a las condiciones propias de cada país (Roess, 2004).

La capacidad de una infraestructura vial es tan variable como pueden serlo las variables físicas del mismo, o las condiciones del tránsito. Por esta razón, los análisis de capacidad se realizan aislando las diversas partes del sistema vial, como un tramo recto, un tramo con curvas; un tramo con pendientes; el acceso a una intersección; un tramo de entrecruzamiento; una rampa de enlace; etc. (Ordóñez Moss, 2009).

Para fines de interpretación uniforme y metodológica ordenada, se han establecido los siguientes criterios (Cal y Mayor Reyes Spíndola, 1994):

- El flujo y la capacidad, bajo condiciones prevalecientes, se expresan en vehículos mixtos por hora para cada tramo de la carretera o calle.
- El nivel de servicio se aplica a un tramo significativo de la carretera o calle. Dicho tramo puede variar en sus condiciones de operación, en diferentes puntos, debido a variaciones en el flujo de vehículos o en su capacidad. Las variaciones en capacidad provienen de cambios en anchura, por pendientes, por restricciones laterales, por intersecciones, etc. Las variaciones de flujo se originan por cierta cantidad de vehículos que entran y salen del tramo en ciertos puntos a lo largo de él. El nivel de servicio del tramo debe tomar en cuenta, por lo tanto, el efecto general de estas limitaciones.
- Los elementos usados para medir la capacidad y los niveles de servicio son variables, cuyos valores se obtienen fácilmente de los datos disponibles. Por lo que corresponde a la capacidad, se requieren el tipo de infraestructura vial, sus características geométricas, la velocidad media de recorrido, la composición del tránsito y las

variaciones del flujo. Por lo que toca al nivel de servicio, los factores adicionales que se requieren incluyen la densidad, la velocidad media de recorrido, las demoras y la relación flujo a capacidad.

- Por razones prácticas se han fijado valores de densidades, velocidades medias de recorrido, demoras y relaciones de flujo a capacidad, que definen los niveles de servicio para autopistas, carreteras de carriles múltiples, carreteras de dos carriles, calles, intersecciones con semáforos e intersecciones sin semáforo o de prioridad.
- El criterio utilizado para una identificación práctica de los niveles de servicio de las diversas infraestructuras viales, establece que se deben considerar las medidas de eficiencia mostradas en la tabla.

Tabla 1.4: Medidas de eficiencia para la definición de los niveles de servicio

Tipo de infraestructura vial	Medidas de eficiencia
Autopistas Segmentos básicos de autopista Entrecruzamientos Rampas de enlace	Densidad (veh.lig./km/carril) Velocidad media de recorrido (km/h) Tasas de flujo (veh.lig./h)
Carreteras Multicarriles De dos carriles	Densidad (veh.lig./km/carril) Demora porcentual (%) y velocidad media de recorrido
Intersecciones con semáforos	Demora media individual por paradas (seg./Veh.)
Intersecciones sin semáforos	Capacidad remanente (veh.lig./h)
Arterias	Velocidad media de recorrido (km/h)
Transporte colectivo	Factor de carga (personas/asiento)
Peatones	Espacio (m ² /peatón)

1.5. Métodos para estimar las capacidades y niveles de servicio en carreteras

En el mundo existen diferentes métodos para la estimación de la capacidad y los niveles de servicio, unos más efectivos que otros en función de las condiciones específicas del lugar en donde se apliquen y de las investigaciones que se llevaron a cabo para la realización de los manuales a los cuales se les incorpora información de estudios de distintos lugares adaptándolos a las condiciones propias de cada país.

1.5.1. Modelo británico:

En el caso del Reino Unido, el gobierno británico a través del Departamento para el transporte (Department for Transport por sus siglas en inglés DFT) tiene desarrollado un método muy detallado para la determinación de la capacidad de las carreteras. Este método se emplea

para realizar análisis coste-beneficio de proyectos de carreteras, para lo cual existe un software denominado COBA (Cost Benefit Analysis), cuyas bases metodológicas se hallan ampliamente descritas.

Para las carreteras de ámbito rural, la estimación de la velocidad de circulación se hace por tramos y se realiza en función de variables vinculadas a la geometría del trazado y al flujo de tráfico. Por el contrario, en el ámbito urbano la red viaria se considera como un sistema completo, en lugar de como un conjunto de tramos separados.

En el caso de carreteras rurales, suburbanas y urbanas en ciudades pequeñas, la velocidad de los vehículos se reduce según aumenta el flujo de tráfico hasta que se alcanza un determinado nivel de flujo a partir del cual la velocidad cae drásticamente hasta un nivel mínimo.

Este modelo se basa en una revisión de la literatura y de la experiencia internacional, principalmente de los países más avanzados en materia de planificación de las redes de transporte. Es llevado a las condiciones específicas de este país para la determinación de las características propias que establecen la capacidad de cada tipo de infraestructura que viene condicionada por el nivel de calidad/seguridad que se considera aceptable, con la incorporación de datos de demanda actual y las predicciones de demanda futura.

1.5.2. Colombia:

En Colombia existe un manual propio para la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de la infraestructura viaria. En este se parte de las condiciones ideales para capacidad de 3 200veh/h en los dos sentidos, y se multiplica por los factores de corrección hasta transformarla en capacidad para las condiciones actuales en vehículos por hora.

Los resultados obtenidos con la aplicación del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles segunda versión (1996) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia no son buenos ya que el mismo está elaborado para las condiciones específicas de la realidad en Colombia y no está basado en investigaciones y procedimientos de propuestas de varios países alrededor del mundo para el análisis de la capacidad y el nivel de servicio a una escala internacional.

1.5.3. México:

En México se utiliza una versión en español del HCM, basada en la cuarta edición de este manual. Se justifica su utilización ya que las diferencias entre conductores, vehículos y carreteras de México y Estados Unidos son pocos significativas y pierden importancia frente a

la fuerte variabilidad en las distribuciones de las demandas de tránsito y a la gran incertidumbre de su evolución futura. De cualquier forma, cuando los procedimientos lo permiten, se incorpora información de estudios desarrollados en México para, en lo posible, ajustar este manual a las condiciones del país.

Este manual es obsoleto pues está basado en la versión de 1985 del HCM y está por salir la versión 2010 (HCM 2010).

1.5.4. España

En el caso de España no existe un manual propio sobre la capacidad de las infraestructuras viarias lo que habitualmente se emplean son versiones adaptadas del HCM, ya que no existen notables diferencias entre las condiciones geométricas, las condiciones del tránsito y las condiciones de control entre un país y otro.

1.5.5. Cuba

En Cuba la NC 53-118-1984, establece los métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en vías de flujo ininterrumpido, donde la capacidad real y volúmenes de servicio se determinan afectando la capacidad ideal, por adecuados factores de corrección que toman en cuenta las diferencias existentes entre los elementos ideales de la vía y el tránsito y los correspondientes a los de la vía analizada.

Esta norma está obsoleta ya que establece los métodos para el cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en vías de flujo ininterrumpido, basados en la versión de 1965 del HCM, y los procedimientos han sido renovados a través de estudios e investigaciones realizadas en el mundo que han llevado a la elaboración de varias actualizaciones de mismo luego de la fecha.

1.5.6. Estados Unidos:

Versiones de los años 1950, 1985, 1994 y 2000

Se publicó la primera edición del HCM en 1950 por la Oficina de Caminos Públicos de los Estados Unidos como una guía al diseño y análisis operacional de las carreteras, siendo el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para medios de transporte. En 1965 el Consejo para la Investigación del Transporte TRB, (por sus siglas en inglés Transportation Research Boards), publicó la segunda edición, bajo la guía de su Comité de la Capacidad de Carreteras, fue la primera en definir el concepto de nivel de servicio que se ha vuelto la base para determinar la suficiencia de las facilidades de transporte desde la perspectiva de planificación, diseño y operación. La tercera edición, publicada por el TRB en 1985, reflejó más

de dos décadas de investigación comprensiva conducida por una variedad de agencias bajo el patrocinio de varias organizaciones, principalmente, el Programa Nacional de Cooperativa de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales. Como un resultado continuo de investigación acerca de la capacidad, se puso al día la tercera edición del HCM en 1994 y 1997. La actualización de 1997 incluye revisiones extensivas (Palma Álvarez, 2006).

Traducido a varios idiomas, se ha vuelto la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y del nivel de servicio. Por más de 50 años, el HCM ha cumplido esta meta, ganando un lugar único en el reconocimiento de la comunidad del transporte (Cerquera Escobar, 2007).

Paralelamente a la preparación del HCM se han ido elaborando programas informáticos que realizan automáticamente los procedimientos que se van plasmando en el HCM. Estos programas proceden de distintas fuentes, pero los más populares son los llamados HCS (“Highway Capacity Software”) que difunde el Centro McTrans de la Universidad de Florida en los Estados Unidos (Martínez Aldeán, 2014).

Los programas HCS replican fielmente los procedimientos del HCM en el computador y resuelven los problemas en una pequeña fracción del tiempo que requiere su solución manual utilizando los formatos y tablas del HCM. Otra manera más precisa de estimar la capacidad vial y el nivel de servicio es mediante modelos de simulación microscópicos, tales como Netsim, Fresim, TEXAS y TWOPAS. Algunos de estos modelos se han empleado para generar tablas para el HCM; sin embargo, tanto los programas HCS como esos modelos representan una manera mecánica de resolver problemas que no permite que el que los use comprenda bien lo que está haciendo. Es recomendable empezar con los procedimientos manuales antes de usar métodos computarizados (Martínez Aldeán, 2014).

Principales características de la versión del HCM 2000

La versión del HCM 2000, como las anteriores versiones, sigue la filosofía original ante el problema de definir analíticamente el complejo fenómeno del tránsito vial, se optó por definir primero las condiciones ideales que fuera posible (carriles de 3.60m, rasante horizontal, alineamiento recto, ausencia de vehículos pesados, etc.) y luego aplicara ella factores de corrección o ajuste que representaran qué tanto se apartan las condiciones reales de las ideales. La pauta para definir las condiciones ideales fue el punto a partir del cual, una mejora de cualquier naturaleza de esas condiciones no se reflejara en ni en un aumento de la capacidad ni en una elevación del nivel de servicio (Palma Álvarez, 2006).

Estimación de la capacidad

La capacidad para condiciones ideales se estima basándose en los volúmenes más altos que se han observado en vías consideradas como ideales en su clase y eligiendo, no el más elevado, sino uno que parezca “razonable” según el criterio de los expertos. En la actualización de 1994 del HCM, en condiciones ideales se establece una capacidad de 2200veh/h para una autopista de cuatro carriles y de 2300veh/h para una de seis mientras que la capacidad de la calzada de una carretera de dos carriles se elevó a 3200veh/h (Cerquera Escobar, 2007).

La capacidad para condiciones reales se obtiene multiplicando la capacidad para condiciones ideales por factores de corrección menores de la unidad que reducen el valor de la capacidad. Una excepción a esta regla ocurre en el procedimiento para calcular la capacidad de autopistas en la actualización del HCM del 1994 (Transportation Research Board, 1994), en que los valores citados para la capacidad no se ajustan porque las velocidades a que ocurre la capacidad suelen ser mayores de 80 km/h y en esa región no se conocía bien la relación entre la velocidad y la brecha media (Gigena, 2008).

Estimación del nivel de servicio

Desde el HCM de 1965 se establecieron cinco niveles de servicio para los distintos tipos de vías A, B, C, D, E y F que quedó fuera de la esfera del HCM por corresponder al molesto régimen congestionado. En efecto, el HCM estima la capacidad y el nivel de servicio para un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante 15 minutos, y no interviene en lo que sucede cuando hay un colapso de la circulación en vías de circulación “continua” que provoca perturbaciones que se extienden desmesuradamente durante horas, o cuando ocurren los catastróficos reboses de cola en vías de circulación discontinua (Ordóñez Moss, 2009).

Relación entre capacidad y nivel de servicio

Una medida absoluta de capacidad nos aportaría información sobre el máximo número de vehículos que puede utilizar una carretera para realizar un desplazamiento, pero no aporta información sobre el grado de congestión que sufren los vehículos en su utilización de la infraestructura. Por ello, para medir la posibilidad de uso de la infraestructura por un determinado volumen de demanda, resulta necesario complementar las medidas absolutas de capacidad con medidas del nivel de servicio, que añaden información sobre el grado de congestión (Gigena, 2008).

Para la realización del trabajo de diploma se utilizará el HCM versión 2000, ya que la NC aparte de que está basada en una de las versiones de este manual, específicamente en la 1965; el mismo se realizó con un programa integral de investigación, el cual constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha sobre la capacidad de carreteras y calles, y aunque muchos de los factores pueden corresponder a condiciones específicas de la vialidad en Estados Unidos, se ha utilizado en otros países con resultados muy positivos, y en donde los procedimientos lo han permitido, se ha incorporado información de estudios locales, adaptando el manual a las condiciones propias de cada país.

1.6. Conclusiones parciales

- En la determinación de la capacidad y los NS es fundamental analizar la influencia de las condiciones geométricas de la infraestructura vial, las condiciones del tránsito y las condiciones de control.
- Es necesario examinar las condiciones ideales óptimas específicas de referencia, que deberán ser ajustadas para tener en cuenta las condiciones prevalecientes en la vía, y lograr la correcta evaluación del NS.
- En la identificación práctica de los NS en la infraestructura vial, hay que considerar las medidas de la eficiencia para carreteras de dos carriles de circulación que son: la demora porcentual y la velocidad media de recorrido.
- La NC 53-118-1984, que establece los métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en vías de flujo ininterrumpido se encuentra obsoleta ya que está basada en la versión de 1965 del HCM.
- El HCM 2000 se ha convertido en la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y NS por más de 50 años, el cual constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha y se ha utilizado en otros países con resultados muy positivos, y en donde los procedimientos lo han permitido, se ha incorporado información de estudios locales, adaptando el manual a las condiciones propias de cada país.

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN UN TRAMO DE CARRETERA RURAL DE DOS CARRILES

En el siguiente capítulo se expone el análisis del procedimiento establecido en el Highway Capacity Manual, versión 2000 (HCM versión 2000) para la realización de la investigación científica, la cual consta de varios pasos para lograr la evaluación del nivel de servicio (NS) en un tramo de carretera rural de dos carriles de circulación. La base teórica en la que se fundamenta esta metodología se encuentra descrita en la revisión bibliográfica anteriormente realizada.

2.1. Generalidades

En este epígrafe se mostrará una metodología con una secuencia de pasos a seguir para evaluar el NS en un tramo de carretera rural de interés nacional en la provincia de Villa Clara.

1. Tramificar un segmento de carretera.
2. Seleccionar los segmentos del tramo a analizar de acuerdo a las características geométricas y del tránsito.
3. Determinar las características del diseño geométrico.
 - Ancho de carril
 - Ancho de paseos
 - Densidad de puntos de accesos
 - % de distancia de visibilidad
4. Establecer las condiciones del tránsito.
 - Volumen
 - Composición vehicular
 - Reparto por sentido de circulación
 - Densidad
 - Velocidad
5. Aplicar la metodología establecida en el HCM versión 2000 para la evaluación del NS en un tramo de carretera rural de dos carriles.

6. Aplicar el programa computarizado Highway Capacity Software (HCS), para la determinación del NS en un tramo de carretera rural de dos carriles.

Los aspectos anteriormente expuestos son la base de la investigación científica a seguir, para lograr evaluar el nivel de servicio en un tramo de carretera rural de dos carriles de circulación en la provincia de Villa Clara.

2.2. Tramificación de la vía

Existen en la provincia de Villa Clara 1 064,49km de vías de interés nacional encontrándose dentro de ellas 906,43km de vías de carreteras de dos carriles de circulación lo que representa el 85% del total de vías de interés nacional existentes en la provincia.

El tramo idóneo para la realización de la investigación científica se escogerá en función de las características geométricas y las condiciones del tránsito de la vía, teniendo en cuenta factores: sociales, de producción agrícola y ganadera, de economía y geográfica que afecten la calidad del servicio ofrecido por la vía a los usuarios en sus diferentes tramos.

2.3. Selección de los segmentos del tramo a analizar

Los segmentos del tramo escogido se seleccionarán en función de las condiciones geométricas de la infraestructura vial y las condiciones del tránsito, ya que son las características que ofrecen una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación; y garantizan la funcionabilidad de la vía, la seguridad, la comodidad, la estética, y la compatibilidad con el medio ambiente.

2.4. Determinación de las características del diseño geométrico

Ancho de carril:

La determinación del ancho de carril se realizará con una lienza en cada uno de los tramos y se hará la medición desde el centro de la vía hasta el borde interior o exterior en varios segmentos del tramo analizado para verificar la medición realizada ya que es una carretera construida hace varios años y ha sido reparada en varias ocasiones.

Ancho de paseos:

Se utilizará una lienza para la determinación del ancho de los paseos en cada uno de los tramos. Esta medición se realizará desde el borde interior o exterior de la vía hasta donde termine el ancho del paseo en varios segmentos del tramo analizado para verificar la medición realizada.

% de distancia de visibilidad:

La distancia de visibilidad representa la distancia mínima necesaria que debe proporcionar la vía delante de la vista del conductor del vehículo para que el tránsito se desarrolle con la adecuada comodidad y seguridad.

Con el concepto de distancia de visibilidad surgen:

- La distancia de visibilidad de parada (Dp)
- La distancia de seguridad entre dos vehículos que viajan por el mismo carril de circulación (Ds)
- La distancia de visibilidad de un vehículo contrario (Dc)
- La distancia de visibilidad de adelantamiento (Da)

Distancia de visibilidad de parada (Dp):

Según la NC: 853-2012 la distancia de visibilidad de parada representa la distancia de visibilidad mínima necesaria para que un conductor que transita a, o cerca de la velocidad de diseño, vea un objeto en su trayectoria y le permita detener el vehículo o circular lentamente buscando evadir el obstáculo con una maniobra que le sea fácil siempre y cuando esta decisión este dentro de la seguridad, o sea, es la suma de las distancias recorridas durante tres intervalos de tiempo por el vehículo:

- Tiempo necesario para ver el objeto peligroso
- Tiempo para reaccionar ante el peligro
- Tiempo para detener el vehículo después de aplicar los frenos; llamada también distancia de frenado

El aseguramiento de la distancia de visibilidad de parada es obligatorio en el proyecto para todas las categorías de carreteras (ver tabla 2.1):

Tabla 2.1: Distancias segura de frenado

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia segura de frenado (m)
100	210
80	140
60	95
50	60
40	45
30	30

Distancia mínima de seguridad entre dos vehículos (Ds):

La menor distancia debe ser tal, que si el vehículo que va delante aplica los frenos, el que va detrás tenga el suficiente espacio para detener el vehículo sin llegar a que se produzca la colisión entre ambos.

$$D_s = 0.189V + 6,00 \text{ (m)} \text{ (ecuación 2.1)}$$

Donde:

- D_s = distancia mínima de seguridad entre dos vehículos
- V = Velocidad de diseño (km/h)

Distancia de visibilidad de un vehículo contrario:

Se define como distancia de visibilidad de un vehículo contrario a la distancia necesaria para que se efectúe la parada de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentido contrario a/o cerca de la velocidad de diseño sin que se produzca la colisión entre ambos.

$$D_c = 2D_p \text{ (ecuación 2.2)}$$

Donde:

- D_c = Distancia de visibilidad de un vehículo contrario
- D_p = Distancia de visibilidad de parada

Cuando no es posible asegurar esta distancia de visibilidad, en el eje de la calzada hay que pintar el eje de la carretera con una línea continua y se colocan las señales correspondientes prohibiendo el adelantamiento, ver tabla 2.2:

Tabla 2.2: Distancia de visibilidad de un vehículo contrario

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia visibilidad de un vehículo contrario (m)
100	420
80	280
60	180
50	120
40	90
30	60

Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a):

Se define como distancia de visibilidad de adelantamiento, como la menor distancia que es necesaria para que un vehículo salga de su carril, adelante al que le precede y vuelva a la senda o carril de origen con seguridad y comodidad sin interferir con el vehículo adelantado o con otro que venga en sentido contrario a/o cerca de la velocidad de diseño, aunque éste aparezca a la vista del conductor que realiza el adelantamiento después de comenzada la maniobra de paso.

Los valores mínimos de las distancias de velocidad de adelantamiento en dependencia de la velocidad de diseño de la carretera y para rasantes horizontales ver tabla 2.3:

Tabla 2.3: Distancias de visibilidad de adelantamiento

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia visibilidad de adelantamiento (m)
100	700
80	560
60	420
50	350
40	280
30	210

Para carreteras de dos carriles el número mínimo de tramos con distancia de adelantamientos asegurada cada 5km está dado en la siguiente tabla:

Tabla 2.4: Distancia de visibilidad mínima de adelantamiento

Velocidad de diseño (km/h)	30	40	50	60	80	100
Distancia de visibilidad mínima de adelantamiento (m)	210	280	350	420	560	700

Cantidad de accesos:

En el terreno se realizará un conteo de los accesos en función del lugar que ocupen en la vía, si es a la izquierda o la derecha, y la funcionalidad de los mismos, para la ejecución de un croquis que sirva para análisis posteriores.

2.5. Establecimiento de las condiciones del tránsito

Volúmenes:

Los estudios de volúmenes se llevarán a cabo mediante aforos de tránsito realizados manualmente. Se efectuarán durante tres días seguidos, un día para cada tramo, en horarios de la mañana durante dos horas de 7:00am a 9:00am, clasificando y contando el número de vehículos en períodos de 15 minutos. Para el conteo se utilizará un modelo previamente realizado para facilitar el trabajo ver tabla 2.5; este recoge la composición vehicular, el reparto por sentido de circulación y la densidad del segmento analizado.

Tabla 2.5: Modelo para la realización del conteo vehicular

Horario			
Vehículos	Santa Clara-UCLV	UCLV-Santa Clara	Total
Autos			
Camión			
Rastra			

Tractor			
Ómnibus			
Moto			
VTA			
Ciclos			
Total			

Velocidad:

En la medición de la velocidad se empleará el método manual más utilizado para el registro de las velocidades que es el cronómetro, con el cual sobre una distancia determinada de 50m, 75m o 100m y marcada sobre el pavimento se medirán los tiempos que tardarán los vehículos en recorrerla.

El observador se situará en un lugar conveniente entre las marcas, cuando las ruedas delanteras pasen sobre la primera marca el observador iniciará la marcha del cronómetro y cuando el mismo vehículo toque la segunda marca con las ruedas delanteras se detendrá el cronómetro.

Obteniendo la velocidad dividiendo la distancia prefijada en metros entre el tiempo que se requirió para recorrerla.

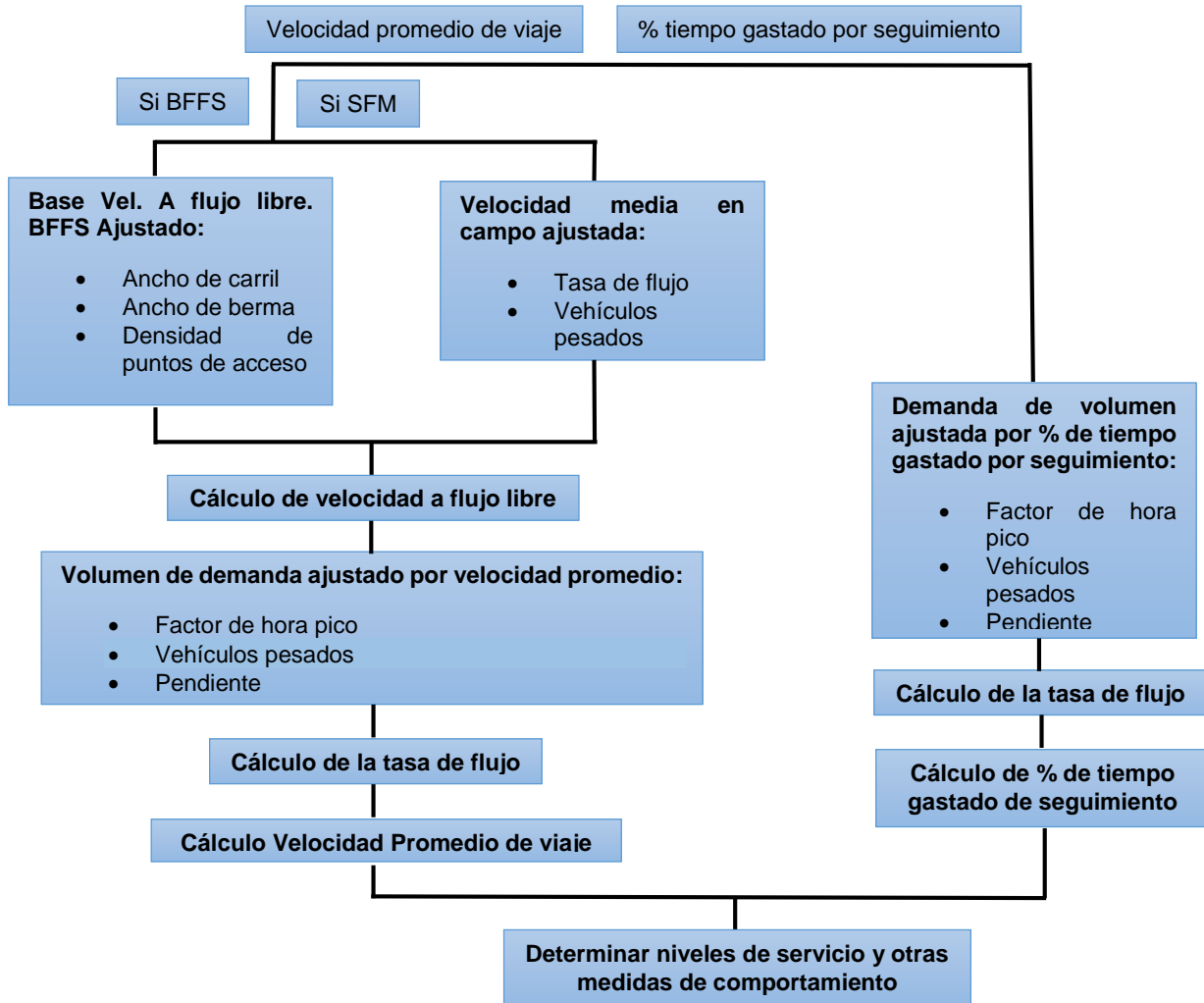
La cantidad de vehículos tomadas para el estudio estará en función de la velocidad de proyecto de esta carretera rural de dos carriles de circulación que es de 60km/h.

2.6. Metodología establecida en el HCM versión 2000 para la evaluación del NS en un tramo de carretera rural de dos carriles de circulación

El siguiente aparte presenta estimaciones de capacidad para carretera de dos carriles de circulación, define el (NS) para carretera de dos carriles y documenta la metodología para aplicaciones operacionales y de planeación. La siguiente figura resume la metodología básica para carreteras rurales de dos carriles de circulación.

Datos de entrada:

- Geometría
- Volumen de demanda
- Velocidad medida en campo (SFM) o
- Base de velocidad a flujo libre (BFFS)



Capacidad

La capacidad de una carretera de dos carriles es 1 700veh/h para cada dirección de trayecto. La capacidad es cercanamente independiente de la distribución direccional del tráfico sobre la facilidad, excepto que para longitudes extensas de carreteras de dos carriles, la capacidad no excederá de 3 200veh/h para ambas direcciones de recorrido combinado. Para longitudes cortas de carreteras de dos carriles tales como túneles o puentes, una capacidad de 3 200 a 3 400veh/h para ambas direcciones de viaje combinado puede ser conseguida pero no puede ser esperada para una longitud extensa.

Niveles de servicio

La medida del servicio para carreteras de dos carriles está definida en el capítulo 12 del HCM, “Conceptos de Carretera”. Sobre la carretera clase I, la movilidad de eficiencia es máxima, y el NS está definido en términos de porcentajes, tiempo gastado en seguimiento (% de demora

en tiempo) y el promedio de la velocidad de recorrido o velocidad media de recorrido (ATS). Sobre la carretera de clase II la movilidad es menos crítica, y los NS están definidos solo en términos del porcentaje del tiempo gastado en seguimiento (% de demora en tiempo), sin considerar la velocidad promedio de recorrido. Los conductores podrán tolerar altos niveles de porcentaje de demora en tiempo sobre una vía de clase II que sobre una vía de una clase I, porque las vías de la clase II usualmente sirven para viajes cortos y diferentes propósitos de viaje.

Los criterios de NS para carreteras de dos carriles en clase I y II están en el tabla 2.6, figura 2.1 y tabla 2.7 La tabla 2.6 refleja los valores máximos de porcentaje de demora en tiempo y el promedio de velocidad de recorrido para cada uno de los NS de carretera de clase I. Un segmento de una carretera de clase I debe considerar los dos criterios, el porcentaje de demora en tiempo y el promedio de velocidad del recorrido mostrado en la figura 2.1 para ser clasificado en cualquier NS.

La Tabla 2.6 ilustra los criterios del NS para carreteras clase I. Por ejemplo, una carretera de dos carriles clase I con porcentaje de demora en tiempo igual a 45% y un promedio de velocidad de recorrido de 65km/h podrá ser clasificado como un NS D, basado en la tabla 2.6. Sin embargo, una carretera clase II con las mismas condiciones podrá ser clasificada como un NS B basado en la tabla 2.7. La diferencia entre estos valores de NS representa la diferencia en las expectativas de los conductores para las facilidades de clase I y II.

Los criterios del NS D de la tabla 2.6, y a través de la figura 2.1 aplican para todos los tipos de carreteras de dos carriles, incluyendo en segmentos de dos sentidos extendidas, segmentos direccionales extendidos, ascensos específicos (rampas), y descensos específicos.

Tabla 2.6: Criterio de nivel de servicio (NS) para carreteras de dos carriles en vías clase I

NS	Porcentaje de demora en tiempo	Velocidad Promedio de recorrido
A	≤ 35	> 90
B	> 35-50	> 80-90
C	> 50-65	> 70-80
D	> 65-80	> 60-70
E	> 80	≤ 60

Figura 2.1: Criterio gráfico de niveles de servicio (NS) para carreteras de dos carriles en vías clase I

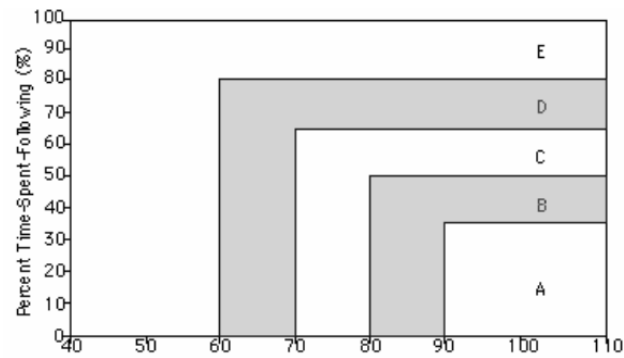


Tabla 2.7: Criterio de nivel de servicio (NS) para carreteras de dos carriles en vías clase II

NS	Porcentaje de demora en tiempo
A	≤ 40
B	>40-55
C	> 55-70
D	> 70-85
E	> 85

Segmentos en dos sentidos (TWO-WAY SEGMENTS)

La metodología de segmentos de dos sentidos estima medidas de operaciones de tráfico a lo largo de una sección de carretera, basado en el tipo de terreno, el diseño geométrico, y las condiciones de tráfico. El HCM versión 2000 clasifica el terreno como llano, ondulado y montañoso.

Los datos de tráfico necesarios para aplicar la metodología de segmentos de dos sentidos incluye el volumen de cada hora de los dos sentidos, el factor de hora pico (FPH), y la distribución direccional del flujo de tráfico. El FPH puede ser calculado desde un dato de campo, o tomado por defecto de los valores tabulados que se presentan en el capítulo 12 del HCM versión 2000. Los datos de tráfico también incluye el porcentaje de camiones y vehículos recreacionales (VsR). El análisis operacional de los segmentos extendidos de dos sentidos para una carretera de dos carriles involucra varios aspectos, descritos en las siguientes secciones.

Determinación de la velocidad a flujo libre (FFS)

Una clave en la valoración de los NS de las carreteras de dos carriles es determinar la velocidad a flujo libre, FFS. La FFS es medida utilizando la velocidad promedio de tráfico bajo condiciones de flujo bajo (hasta 200veh/h en los dos sentidos) si la medida en el campo debe

ser hecha con tasas de flujo en los dos sentidos de más de 200veh/h debe realizarse un ajuste de volumen cuando se determina la FFS. Este volumen ajustado se discute más adelante.

Dos métodos generales pueden ser utilizados para determinar la FFS para una carretera de dos carriles: Medida en campo y estimada con pautas previstas en este capítulo. El procedimiento de medición de campo ayudada mediante la recolección de estos datos directamente o incorporando las medidas dentro de programas de monitoreo de velocidad. Sin embargo, las medidas de campo no son necesarias para un análisis operacional. La FFS puede ser estimada desde unos datos de campo y conocimientos del usuario de las condiciones y características de la carretera.

- Velocidad a flujo libre medida en campo:

La FFS de una carretera puede ser determinada directamente desde un estudio de velocidad dirigido en el campo. No se hacen ajustes para los datos de medida de campo. El estudio de velocidad debe ser realizado en una localización representativa dentro del segmento de la carretera que está siendo evaluada; por ejemplo, un sitio sobre un ascenso corto no debe ser seleccionado dentro de un segmento que está generalmente en terreno llano. Cualquier técnica de medida de velocidad aceptable para otros estudios de ingeniería de velocidad de tráfico puede ser usada. El estudio de campo debe ser realizado en períodos de baja circulación de tráfico (menos de 200veh/h para los dos sentidos de circulación) y debe ser medida la velocidad de todos los vehículos o de un muestreo sistemático (ejemplo, de cada décimo vehículo). Una muestra representativa de la velocidad debe ser obtenida de al menos cien vehículos.

Si el estudio de velocidad debe ser realizado para una tasa de circulación en los dos sentidos de más que 200veh/h, la FFS puede ser hallada usando la relación entre la circulación y la velocidad mostrada en el capítulo 12 del HCM versión 2000 asumiendo que los datos sobre los volúmenes de tráfico son registrados al mismo tiempo. La FFS puede ser calculada con base en los datos de campo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$FFS = SFM + 0.0125 \frac{V_f}{f_{HV}} \text{ (ecuación 2.3)}$$

Donde:

- FFS = Velocidad a flujo libre estimada (Km/h)
- SFM = Velocidad media del tráfico medida en el campo (Km/h)

- V_f = Tasa de flujo observada en el período en que el dato del campo fue obtenido (veh/h)
- F_{HV} = Factor de ajuste de vehículo-pesado, determinado como se muestra en la ecuación 2.6.

Si la medida del campo de la carretera no está disponible, los datos tomados en una vía similar pueden ser usados. El camino sustituto debe ser similar con respecto a las variables que afectan la FFS, las cuales están identificadas en este capítulo. Agencias de Carreteras con continuos programas de monitoreo de velocidad o con datos de velocidad o archivos puede preferirse para usar estos más que conducir un nuevo estudio de velocidad o usar estudios estimados indirectos. Sin embargo, estos datos deben ser usados directamente solo si la recolección está de acuerdo con los procedimientos descritos anteriormente.

- Velocidad a flujo libre estimada (FFS)

La FFS puede ser estimada indirectamente si los datos del campo no están disponibles. Este es un gran reto sobre las carreteras de dos carriles que sobre otros tipos de vías de circulación ininterrumpidas porque la FFS de la carretera de dos carriles puede tener un rango desde 70 a 110km/h. Para estimar una FFS, el análisis debe caracterizar las condiciones de operación de la facilidad en términos de una base de velocidad a flujo libre (BFFS) que refleje las características del tráfico y la geometría de la vía. Porque, el rango límite de las condiciones de velocidad sobre una carretera de dos carriles y la importancia de factores locales y regionales que influyen en las velocidades deseadas por el conductor, no influyen sobre la estimación de la BFFS. Los estimados de la BFFS pueden ser desarrollados basado sobre los datos de la velocidad y los conocimientos locales de condiciones de operaciones sobre facilidades similares. La velocidad de diseño y la velocidad límite permitida de la facilidad puede ser considerada en la determinación de la BFFS; Sin embargo, la velocidad de diseño y los límites de velocidades para muchas facilidades no son basados sobre las condiciones de operaciones actuales. Una vez la BFFS es estimada los ajustes pueden ser hechos por la influencia del ancho del carril, del ancho de berma, y densidad de punto de acceso. La FFS es estimada usando la siguiente ecuación:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \text{ (ecuación 2.4)}$$

Donde:

- FFS = Velocidad a flujo libre estimada (km/h)
- BFFS = Base de FFS (km/h)

- f_{LS} = Ajuste del ancho del carril y el ancho de berma, tabla 2.8.
- f_A = Ajuste para puntos de acceso, tabla 2.9.

El primer ajuste para la FFS estimada relaciona los efectos del carril y el ancho de la berma. Las condiciones bases para carretera de dos carriles requiere 3,60m de ancho de carril y 1,80m de ancho de berma. La tabla 2.8 lista los ajustes para la FFS estimada para carriles y bermas angostos. El dato de la tabla 2.8 indica, por ejemplo, una carretera de dos carriles con 3,30m de carril y un ancho de berma completo tiene un FFS que es 0,70km/h menos que una carretera con un carril base y con bermas amplias. Similarmente, una carretera de dos carriles con 3,60m de carril y 0,60m de bermas tiene un FFS de 4,20km/h menos que una carretera con carril base y amplias bermas.

Tabla 2.8: Ajuste f_{LM} por ancho de carril y berma

Ancho de carril (m)	Reducción de la FFS (km/h)			
	Ancho de berma (m)			
	$\geq 0,0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
$2,7 < 3,0$	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$\geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

La tabla 2.9 lista los ajustes para densidad de puntos de acceso por kilómetro. Los datos indican que cada punto de acceso por kilómetro disminuye la FFS estimada en cerca de 0,40km/h. La densidad de puntos de acceso es hallada dividiendo el número total de interacciones y vías de acceso en ambos lados del segmento del camino por la longitud del segmento en kilómetros. Una intersección o acceso de camino debe ser incluido o si ésta influye en la circulación del tráfico; puntos de acceso no notados por el conductor o con una pequeña actividad no deben ser incluidos.

Tabla 2.9: Ajuste f_A para densidad de puntos de acceso

Puntos de acceso por km	Reducción de la FFS (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
≥ 24	16,0

Cuando un dato sobre el número de los puntos de acceso en un segmento de carretera de dos carriles no está disponible (ejemplo, cuando la carretera no ha sido construida todavía), pueden usarse las pautas dadas en el capítulo 12 del HCM versión 2000.

Si un segmento de carretera contiene curvas horizontales cerradas con velocidades de diseño especialmente por debajo del resto del segmento este puede ser ideal para determinar la FFS separadamente para curvas y tangentes y cálculos de promedio pesados de la FFS para un segmento como para todo completo.

Los datos para la relación de FFS en este capítulo incluyen ambos, viajes regulares y viajes no regulares. No hubo diferencias significativas entre los dos. Sin embargo, se espera que conductores regulares puedan usar una facilidad más eficientemente que los usuarios recreacionales y otros conductores ocasionales. Si el efecto de una población de conductores es considerable, la FFS debe ser medida en el campo. Si los valores de campo no pueden ser hechos, se debe seleccionar una FFS para reflejar el efecto anticipado de la población de conductores. Precaución que debe ser tomada para no subestimar la BFFS de una carretera por la exageración del efecto de una población de conductores dado.

Determinación de la demanda de tasa de flujo (V_p)

Se deben hacer tres ajustes para determinar el volumen de demanda horaria, si se basan en conteos de tráfico o en estimaciones, se llega a la tasa de flujo de vehículos livianos equivalente, usado en los análisis de NS. Estos ajustes son el FHP, el factor de ajuste por pendiente (f_G), el factor de ajuste de vehículo-pesado (f_{HV}). Estos ajustes son aplicados de acuerdo a la ecuación 2.5:

$$V_p = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} \quad (\text{ecuación 2.5})$$

Donde:

- V_p = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el período pico de 15min (veh/h)
- V = Demanda de volumen para una hora pico completa (veh/h)
- FHP = Factor hora pico
- f_G = Factor de ajuste por pendiente
- f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados

FHP:

Representa la variación en el flujo de tráfico dentro de una hora. El análisis de carreteras de dos carriles se basa sobre los volúmenes de demanda para un pico de un período de 15min dentro de una hora de interés, usualmente la hora pico. Para análisis operacional, los volúmenes de demanda de hora completa deben ser convertidos a tasa de flujo con base en el periodo pico de 15min como se mostraba en la ecuación 2.5.

Factor de ajuste por pendiente (f_G):

El f_G tiene en cuenta el efecto del terreno sobre las velocidades de los vehículos y el porcentaje de tiempo de seguimiento (demora), aún si no hay vehículos pesados presentes. Los valores del f_G son listados en la tabla 2.10 para un estimativo de velocidades de recorrido promedio y en la tabla 2.11 para estimativos de porcentaje de tiempo de seguimiento.

Tabla 2.10: Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales

Rango de velocidades de flujo en vías bidireccionales (veh/h)	Rango de velocidades de flujo en vías direccionales (veh/h)	Tipo de terreno	
		LLano	Ondulado
0-600	0-300	1,00	0,71
> 600-1200	> 300-600	1,00	0,93
> 1200	> 600	1,00	0,99

Tabla 2.11: Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccional

Rango de velocidades de flujo en vías bidireccionales (veh/h)	Rango de velocidades de flujo en vías direccionales (veh/h)	Tipo de terreno	
		LLano	Ondulado
0-600	0-300	1,00	0,77
> 600-1200	> 300-600	1,00	0,94
> 1200	> 600	1,00	1,00

Ajuste por vehículos pesados (f_{HV}):

La presencia de vehículos pesados en el tráfico disminuye la FFS, porque la base de condiciones de tráfico es asumido solamente para carros-pasajeros es una rara ocurrencia. Además, los volúmenes de tráfico deben ser ajustados para una tasa de flujo equivalente expresada en los vehículos livianos por hora, este ajuste se realiza usando el factor f_{HV} .

El ajuste por la presencia de vehículos pesados en el tráfico se aplica para dos tipos de vehículos: camiones y RVS. Los ómnibus no deben ser tratados como un tipo separado de vehículo pesado, pero deben ser incluidos con los camiones. El factor de ajuste de los vehículos pesados requiere dos adelantamientos. Primero, se debe hallar el factor equivalente de vehículo liviano para camiones (ET) y para RVS (ER) para las condiciones actuales de operación. Entonces, usando estos valores, un factor de ajuste debe ser calculado para corregir todos los vehículos pesados en el tráfico.

Los equivalentes a vehículo liviano para segmentos extendidos de dos sentidos, son determinados en la tabla 2.12 para velocidades estimadas y en la tabla 2.13 para el porcentaje estimado de tiempo de seguimiento. El terreno de segmento de dos sentidos extenso debe ser categorizado como llano u ondulado.

Tabla 2.12: Equivalencias de vehículos livianos para pesados y recreacionales para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales

Tipo de vehículo	Rango de velocidades de flujo en vías bidireccionales (veh/h)	Rango de velocidades de flujo en vías direccionales (veh/h)	Tipo de terreno	
			LLano	Ondulado
Trucks, ET	0-600	0-300	1,7	2,5
	> 600-1200	> 300-600	1,2	1,9
	> 1200	> 600	1,1	1,1
RV _s , ER	0-600	0-300	1,0	1,1
	> 600-1200	> 300-600	1,0	1,1
	> 1200	> 600	1,0	1,1

Tabla 2.13: Equivalencias de vehículos livianos para pesados y recreacionales para determinar tiempos de seguimiento en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales

Autos directos equivalentes para camiones y vehículos recreativos para determinar el porcentaje de tiempo de seguimiento en vías y segmentos direccionales				
Tipo de vehículo	Rango de velocidades de flujo en vías bidireccionales (veh/h)	Rango de velocidades de flujo en vías direccionales (veh/h)	Tipo de terreno	
			LLano	Ondulado
Trucks, ET	0-600	0-300	1,1	1,8
	> 600-1200	> 300-600	1,1	1,5
	> 1200	> 600	1,0	1,0
RV _s , ER	0-600	0-300	1,0	1,0
	> 600-1200	> 300-600	1,0	1,0
	> 1200	> 600	1,0	1,0

Terreno llano:

El terreno llano, es una combinación del alineamiento horizontal y vertical permitiendo que los vehículos pesados mantengan aproximadamente la misma velocidad como un vehículo liviano; estos generalmente incluyen pendientes cortas de no más de 1 o 2%.

Terreno ondulado:

El terreno ondulado es cualquier combinación de alineación horizontal y vertical que causa disminución de la velocidad de los vehículos pesados substancialmente por debajo de los vehículos livianos. Pero no para operar a marcha lenta de velocidad para un espacio significativo de tiempo o frecuencia de intervalos; generalmente, este incluye longitudes de pendientes cortas y medianas de no más del 4%. Los segmentos con longitudes substanciales de más de una pendiente de 4% deben ser analizados con un procedimiento de pendiente específica para segmentos direccionales.

Factor de ajuste de vehículos pesados:

Una vez los valores de ET Y ER han sido determinados, el ajuste del factor para vehículos pesados es calculado usando la ecuación 2.8:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_t(E_t - 1) + P_R(E_R - 1) + P_o(E_o - 1) + P_{VTA}(E_{VTA} - 1) + P_C(E_C - 1) + P_M(E_M - 1)} \quad (\text{ecuación 2.6})$$

Donde:

- P_t = Proporción de camiones en el tráfico, expresado en decimal
- P_R = Proporción de RVS en el tráfico, expresado en decimal
- P_o = Proporción de ómnibus
- P_{VTA} = Proporción de vehículos de tracción animal (VTA) en el tráfico, expresado en decimal
- P_C = Proporción de ciclos en el tráfico, expresado en decimal
- P_M = Proporción de motos en el tráfico, expresado en decimal
- E_t = Equivalencia de pasajero-carro por camión, obtenido de la tabla 2.12 o tabla 2.13
- E_R = Equivalencia de pasajero-carro por RVS, obtenido de la tabla 2.12 o tabla 2.13
- E_o = Equivalencia de pasajero-carro por ómnibus
- E_{VTA} = Equivalencia de pasajero-carro por VTA
- E_C = Equivalencia de pasajero-carro por ciclo
- E_M = Equivalencia de pasajero-carro por moto

En Cuba no existen vehículos del tipo recreacionales (RVS), por lo que en la ecuación 2.6 se va a omitir el factor que tiene en cuenta este tipo de vehículos.

Debido a las características imperantes en Cuba, donde existe un tráfico extremadamente heterogéneo y una gran cantidad de vehículos, se hace necesario modificar la ecuación 2.6 insertándole nuevos coeficientes debido al tráfico de VTA, motos y ciclos.

Según un estudio realizado por (Yahya R, 2014), sobre algunos tipos de vehículos entre ellos VTA se determinó que existe una fuerte diferencia estadística entre los valores de los coeficientes de equivalencia pasajero-carro (PCE) de Gaza y la India, esta variación es debida a la diferencia en los tipos de vehículos, ya que en la India se usan bueyes y sin embargo se utilizan caballos, mulas o asnos en Gaza. Para la realización de esta investigación científica se escogerá el PCE establecido para la India de 2,60, ya que Cuba no posee estudios para la determinación de este factor en este tipo de vehículos y aunque existan diferencias en cuanto a sus dimensiones (son más anchos y largos), y su peso (son vehículos de pasajeros los cuales tienen el peso de la estructura y el de las personas que transporta que varían entre 9 o 10 en cada viaje), ambos circulan por la vía con una baja velocidad de circulación.

En la selección de los coeficientes PCE para el caso de los motores nos basaremos en un estudio realizado por (Yarce Marín, 2015) en Colombia, en cuyo país existe una gran similitud a las características del tránsito en Cuba. Las dimensiones de las motos escogidas para el estudio son de longitud 1,90m y de ancho 0,60m; muchas de las motos que existen en Cuba presentan esas dimensiones pero a otras se les han realizado modificaciones presentando un largo de 3,50m y un ancho de 1,20m, las cuales se comportan en el tránsito como un auto, estas están hechas para el transporte de 10 personas en cada viaje; aunque las características no son iguales a las escogidas en el estudio se determinó que se utilizará un coeficiente PCE de 2,4, ya que en Cuba no existen estudios al respecto.

En un estudio realizado en Japón por (Nguyen Cao Y, 2014), se determinó que el coeficiente PCE para bicicletas es de 1,40, este valor se tomará para las condiciones del tránsito en Cuba ya que existe una similitud en cuanto al tipo de vehículo analizado en el estudio que presenta dimensiones de 1,90m de largo y 0,45m de ancho.

A continuación se presenta la tabla 2.14 donde se muestran los valores de los factores de equivalencia pasajero-carro que se utilizarán en la realización de la investigación científica.

Tabla 2.14: Valores del factor de equivalencia pasajero-carro para los distintos tipos de vehículos

Vehículos	Equivalencia pasajero carro por tipo de vehículo
Autos	1,0
Camiones	2,0
Ómnibus	1,5
Motos	2,4
Ciclos	1,4
Vehículos de tracción animal	2,6

Cálculos iterativos

De la tabla 2.10 a la Tabla 2.13 el factor de ajuste por pendiente F_G y la equivalencia de vehículo liviano para camiones (ET) y RVS (ER) son estratificados por tasa de flujo expresada en vehículo liviano por hora. Sin embargo, hasta que la ecuación 2.5 es aplicada, la tasa de flujo en vehículo liviano por hora es desconocida. Además, debe ser aplicada una aproximación iterativa para determinar la tasa de flujo equivalente en vehículo liviano V_p , para cada velocidad de recorrido promedio y porcentaje de tiempo en seguimiento.

Primero, se determina la tasa de flujo, en vehículos por hora, como V_p/FHP . Segundo, se seleccionan valores de f_G , ET, y ER apropiado para la tasa de flujo de las tablas. Entonces, se determina V_p desde estos valores usando las ecuaciones 2.5 y 2.6. Si el valor calculado de V_p es menor al límite superior del rango de tasa del flujo seleccionado para la cual f_G , ET, y ER fueron determinados, entonces el valor del cálculo de V_p debe ser usado. Si la V_p es más alta que el límite superior del rango de tasa del flujo, repita el procedimiento para rangos mayores sucesivamente hasta que un valor aceptable de V_p es hallado. Porque el rango más alto incluye todas las tasas de flujo mayores que 1 200veh/h en ambas direcciones de trayecto combinado, estos pueden ser usados si el valor calculado excede el límite superior de ambos rangos de tasa de flujos bajos.

Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS)

La velocidad promedio de recorrido ATS, es estimada desde la FFS, la demanda de tasa de flujo, y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas de no adelantamiento. La demanda de la tasa de flujo para un ATS es determinada con la ecuación 2.5 usando el valor de la f_{HV} calculado con la equivalencia de vehículos liviano en la tabla 2.12. La ATS es entonces estimada con la ecuación 2.7:

$$ATS = FFS - 0.0125 V_p - f_{np} \text{ (ecuación 2.7)}$$

Donde:

- ATS = Velocidad promedio de recorrido para ambas direcciones de trayecto combinado (Km/h)
- F_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento (ver tabla 2.15)
- V_p = Tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano para un período pico de 15min (veh/h)

Tabla 2.15: Ajuste (f_{np}) por el efecto de zonas de no adelantamiento sobre la velocidad en segmentos de dos sentidos

Demanda de tasa de flujo en vías bidireccionales, V_p (veh/h)	Reducción de la Velocidad media de viaje (km/h)					
	% zonas de no adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	1,0	2,3	3,8	4,2	5,6
400	0,0	2,7	4,3	5,7	6,3	7,3
600	0,0	2,5	3,8	4,9	5,5	6,2
800	0,0	2,2	3,1	3,9	4,3	4,9
1000	0,0	1,8	2,5	3,2	3,6	4,2
1200	0,0	1,3	2,0	2,6	3,0	3,4
1400	0,0	0,9	1,4	1,9	2,3	2,7
1600	0,0	0,9	1,3	1,7	2,1	2,4
1800	0,0	0,8	1,1	1,6	1,8	2,1
2000	0,0	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8
2200	0,0	0,8	1,0	1,4	1,5	1,7
2400	0,0	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
2600	0,0	0,8	1,0	1,3	1,4	1,6
2800	0,0	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4
3000	0,0	0,8	0,9	1,1	1,1	1,3

La FFS usada en la ecuación 2.7 es el valor estimado con la ecuación 2.3 o 2.4. El ajuste para el efecto del porcentaje de la zona de no adelantamiento sobre la ATS (f_{np}) es listado en la tabla 2.15. El cuadro muestra que el efecto de las zonas de no adelantamiento sobre la ATS se incrementa a un máximo a una tasa de flujo de dos sentidos de 400veh/h y que disminuye en volúmenes altos. El máximo valor de la ATS (f_{np}) es de 7,30km/h.

Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)

Es estimado desde la tasa de demanda de flujo, la distribución de tráfico direccional y el porcentaje de zonas de no adelantamiento. La demanda de tasa de flujo V_p para un PTSF es determinada con la ecuación 2.5 usando el valor del f_{HV} calculado con el equivalente de

vehículo liviano de la tabla 2.13. PTSF es entonces estimado usando la ecuación 2.8. Los valores apropiados del BPTSF pueden ser determinados con la ecuación 2.9.

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} \text{ (ecuación 2.8)}$$

Donde:

- PTSF = Porcentaje de demora en tiempo
- BPTSF = Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado (use la ecuación 2.9)
- $F_{d/np}$ = Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento sobre el PTSF
- V_p = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano por período pico de 15min

$$BPTSF = 100 (1 - e^{-0.000879 V_p}) \text{ (ecuación 2.9)}$$

Un ajuste representativo del efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento ($f_{d/np}$) es presentado en el tabla 2.16.

Tabla 2.16: Ajuste ($f_{d/np}$) por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento en el porcentaje de demora en tiempo sobre segmentos en dos sentidos

Tasa de flujo bidireccional, V_p (veh/h)	Incremento del porcentaje de tiempo gastado en seguimiento (%)					
	% de zonas de no adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
Directional split = 50/50						
≤ 200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
3200	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Directional split = 60/40						
≤ 200	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	0,5	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
≥ 2600	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2
Directional split = 70/30						

≤ 200	2,8	13,4	19,1	24,8	25,2	25,5
400	1,1	12,5	17,3	22,0	22,6	23,2
600	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
≥ 2000	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
Directional split = 80/20						
≤ 200	5,1	17,5	24,3	31,0	31,3	31,6
400	2,5	15,8	21,5	27,1	27,6	28,0
600	0,0	14,0	18,6	23,2	23,9	24,5
800	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
≥ 2000	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
Directional split = 90/10						
≤ 200	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	2,4	19,0	25,6	32,2	32,5	32,8
600	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
≥ 1400	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

Determinación de los niveles de servicio

El primer paso en la determinación del nivel de servicio es comparar la tasa de flujo equivalente de vehículo-liviano (V_p) con la capacidad bidireccional de 3 200veh/h. Si V_p es mayor que la capacidad, entonces la carretera es sobresaturada y el nivel de servicio es F. Similarmente, si la proporción de flujo de demanda en cualquier dirección de viaje es mayor que 1 700veh/h, entonces la carretera es sobresaturada y el nivel de servicio es F. En niveles de servicio F, el porcentaje de demora en tiempo es cercano a 100% y las velocidades son muy inconstantes y difíciles estimar.

Para un segmento de carretera clase I con demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio es determinado por el punto de localización correspondiente para el porcentaje estimado de demora en tiempo y el promedio de velocidad de recorrido determinado en la ecuación 2.5. Para un segmento de carretera clase II con la demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio es determinado comparando el porcentaje de tiempo en seguimiento y el criterio mostrado en la ecuación 2.6. Los resultados reportados del análisis deben incluir los niveles de servicio y los valores estimados para el porcentaje de demora en tiempo y el promedio de velocidad de recorrido. Aunque el promedio de velocidad de recorrido no es considerado en la determinación de los niveles de servicio para las vías clase II, la velocidad promedio de recorrido estimada puede ser útil en la evaluación de la calidad del servicio de

las facilidades de la carretera de dos carriles, de la red de carreteras, o el sistema del cual el segmento de la vía forma parte.

2.7. Aplicación del Highway Capacity Software (HCS)

Junto con la preparación del HCM se elaboran programas informáticos que realizan automáticamente los procedimientos que se van plasmando en el HCM. Estos programas proceden de distintas fuentes, pero entre los más populares está el llamado HCS que difunde el Centro McTrans de la Universidad de Florida en Estados Unidos.

Los programas HCS replican fielmente los procedimientos del HCM en una computadora y resuelven los problemas en una pequeña fracción del tiempo que requiere su solución manual utilizando los formatos y las tablas del HCM.

La organización del programa HCS es muy similar a la del HCM versión 2000, que maneja tres módulos básicos: corrientes vehiculares de flujo continuo, corrientes vehiculares de flujo discontinuo y transporte público o masivo, los cuales son presentados en el menú principal. Cada uno de estos módulos usa extensiones de archivo propias, de tal manera que los datos pueden residir en un simple directorio de datos, pero cada módulo específico de análisis solamente despliega sus propios datos.

Figura: Menú principal del HCS



Figura: Interfaz principal para carreteras de dos carriles de circulación

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT ANALYSIS			
General Information			
Analyst	<input type="text"/>	Highway	<input type="text"/>
Agency/Co.	<input type="text"/>	From/To	<input type="text"/>
Date	<input type="text" value="27/05/2016"/> Units: U. S. Customary	Jurisdiction	<input type="text"/>
Analysis Time Period	<input type="text"/>	Analysis Year	<input type="text"/>
Project Description	<input type="text"/>		
Input Data			
Shoulder Width	<input type="text" value="6.0"/> ft	Two-Way Hourly Volume, V	<input type="text" value="0"/> vph
Lane Width	<input type="text" value="12.0"/> ft	Directional Split	<input type="text"/> / 40
Segment Length	<input type="text" value="0.0"/> mi	Peak-Hour Factor, PHF	<input type="text" value="0.88"/>
<input checked="" type="radio"/> Class I Highway	<input type="radio"/> Class II Highway	Trucks and Buses	<input type="text" value="14"/> %
Terrain: <input checked="" type="radio"/> Level	<input type="radio"/> Rolling	Recreational Vehicles	<input type="text" value="4"/> %
		Percent No-Passing Zones	<input type="text" value="0"/> %
		Access Points	<input type="text" value="8"/> / mi
Average Travel Speed			
Grade Adjustment Factor, f_G	<input type="text" value="1.00"/>	Heavy Vehicle Adjustment, f_{HV}	<input type="text" value="0.911"/>
Passenger-Car Equivalents for Trucks, E_T	<input type="text" value="1.7"/>	Two-Way Flow Rate, v_p	<input type="text" value="0"/> pc/h
Passenger-Car Equivalents for RVs, E_R	<input type="text" value="1.0"/>	Highest Directional Flow Rate	<input type="text"/> pc/h
Free-Flow Speed			
	<input type="radio"/> Measured	<input checked="" type="radio"/> Estimated	
Measured Speed, S_{FM}	<input type="text"/> mi/h	Base Free Flow Speed	<input type="text" value="60.0"/> mi/h

2.8. Conclusiones parciales

- Se propone un procedimiento para la evaluación del nivel de servicio en una carretera rural de dos carriles de circulación en la provincia de Villa Clara, con la aplicación de la metodología del HCM versión 2000.
- Se aplicará la metodología planteada en el HCM versión 2000 para carreteras rurales de dos carriles de circulación para la correcta evaluación del nivel de servicio en el tramo de carretera analizado.
- Al ser el tráfico de Cuba heterogéneo y no existir estudios para la determinación de los coeficientes de equivalencia para VTA, motos y bicicletas, se escogerán basados en análisis realizados en otros lugares del mundo con características similares a las nuestras.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación del procedimiento descrito en el capítulo II, para un tramo de vía rural de interés nacional en la provincia de Villa Clara. Primeramente se escogerá el tramo de carretera y se dividirá en segmentos, para determinarle a cada uno las características geométricas y las condiciones del tránsito, para luego aplicar la metodología establecida en el Highway Capacity Manual (HCM versión 2000), para la determinación del nivel de servicio en carreteras rurales de dos carriles de circulación. Es importante destacar que en la aplicación se ha realizado un análisis riguroso y pormenorizado, dada la importancia de los resultados del análisis.

3.1. Tramificación de la carretera

Se determinó que la vía objeto de estudio es: Santa Clara-Entronque de Vueltas, ya que según información brindada por el Centro Provincial de Vialidad se encuentra dentro de las más peligrosas de la provincia presentando en el año 2015, 31 accidentes, 1 fallecido y 47 lesionados. Esta fue construida en 1952, posee 29,8km de los 906,43km de vías de dos carriles de circulación de interés nacional. Es una carretera rural categoría III, con una velocidad de proyecto de 60km/h, la cual transita por dos municipios Santa Clara y Camajuaní. El material utilizado en la construcción de la superficie de la misma fue hormigón asfáltico y la estructura resistente de la vía está formada por una base pétreo.

En este trabajo de diploma se analizará el tramo Circunvalación-Universidad, el cual fue diseñado en 1952 para un flujo vehicular inferior al que está sometido en la actualidad, debido a la variedad de vehículos que circulan por dicha carretera, los cuales son menos modernos que los actuales; al aumento de la población en la zona rural que ha propiciado la circulación de vehículos de tracción animal, tractores y ciclos; y al mismo tiempo esta carretera constituye la principal forma de acceso al polo turístico Cayo Santa María que genera un aumento del tráfico de autos, camiones, rastras y ómnibus.

3.2. Segmentos del tramo a analizar

De acuerdo a las características geométricas de la infraestructura vial y a las condiciones del tránsito, que son las características que ofrecen una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación se decidió dividir el tramo analizado en tres segmentos: el primero Circunvalación-Escuela Profesional de Arte “Samuel Feijoo”; el segundo Escuela Profesional de Arte Samuel Feijoo- Cmdte. “Manuel Fajardo” y el tercero Instituto Politécnico “Lázaro Cárdenas”-Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

3.3. Tramo 1: Circunvalación-Escuela Profesional de Arte “Samuel Feijoo”

El estudio se realizó en el tramo comprendido entre la Circunvalación ubicada en el kilómetro 0 hasta la Escuela Profesional de Arte “Samuel Feijoo” situada en el kilómetro 2, ambos pertenecientes al municipio de Santa Clara. Este posee un pavimento flexible con superficie de hormigón asfáltico en caliente y tierra como material de mejoramiento en los paseos. El terreno es llano en los 2 kilómetros de longitud de la vía.

3.3.1. Características geométricas

Tabla 3.1: Características geométricas para el tramo 1

Características geométricas	1 ^{er} tramo
Ancho de carril	3,15m
Ancho de paseos	1,50m
Densidad de puntos de acceso	10ptos/km
% de zonas de no adelantamiento	84,5%

3.3.2. Condiciones del tránsito

Tabla 3.2: Condiciones del tránsito para el tramo 1

Condiciones del tránsito	1 ^{er} tramo
Volumen de la hora pico	911veh.mixtos/h, FHP=0,886
Composición vehicular	43% autos, 7% camiones, 0%rastras, 2% tractores, 9% ómnibus, 22% motos, 1% VTA, 16% ciclos
Reparto por sentido de circulación	50/50
Velocidad	63,56km/h

Para la determinación de las condiciones del tránsito en cada uno de los tramos se realizó una tabla en función de los datos obtenidos del aforo que nos proporcionará un resumen del comportamiento de los distintos tipos de vehículos en cada uno de los períodos de 15 minutos dentro de las dos horas (7:00-9:00) en las que se realizó el aforo vehicular.

Tabla 3.3: Resumen del aforo vehicular realizado para el tramo 1

Tipos de vehículos	Horas								Totales
	7:00 – 7:15 am.	7:15 - 7:30 am.	7:30 – 7:45 am.	7:45 – 8:00 am.	8:00 – 8:15 am	8:15 – 8:30 am.	8:30 – 8:45 am.	8:45 – 9:00 am.	
Autos	74	104	101	114	110	97	84	79	763
Camión	18	13	9	21	19	13	8	8	109
Rastra	1	-	-	1	2	-	-	-	4
Tractor	1	5	5	5	3	3	-	-	22
Ómnibus	9	24	23	21	13	7	16	11	124
Moto	25	52	67	57	48	51	46	36	382
VTA	7	2	2	1	3	5	2	-	22
Ciclos	24	50	38	37	29	28	24	19	249
Total	159	250	245	257	227	204	180	153	1675

Volumen de la hora pico:

- La hora pico es de 7:00 a 8:00 con un volumen de 911veh/h
- El flujo máximo para períodos de 15 minutos corresponde al de las 7:45-8:00, con un valor de 257 vehículos mixtos

Por tanto el factor de la hora pico (FHP) de acuerdo a la siguiente ecuación es:

$$FHP = \frac{VHP}{N \times (q_{m\acute{a}x})} = \frac{911}{4 \times 257} = 0,886$$

FHP: Factor de la hora pico

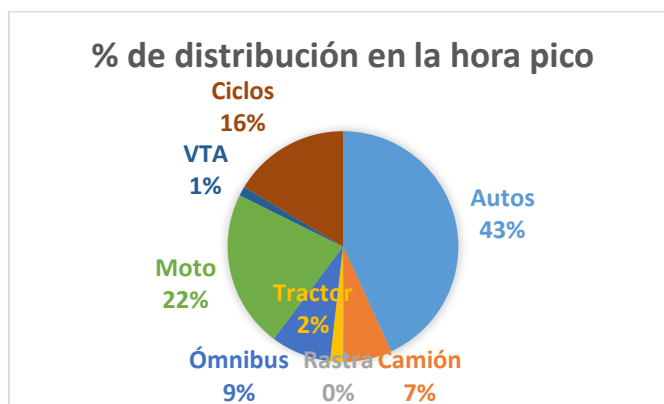
VHP: Volumen de la hora pico

N: Número de períodos durante la hora pico

Q_{máx}: Flujo máximo

Composición vehicular:

Gráfico 3.1: Composición vehicular en la hora pico del tramo 1



Reparto por sentido de circulación:

De los 911 vehículos mixtos que tiene la hora de máxima demanda, 457 que representan un 50,165% \approx 50% se dirigen con destino a la Universidad y 454 que representan un 49,835% \approx 50% con destino Santa Clara, por tanto el reparto por sentido de circulación es de un 50/50.

Velocidad:

Para el registro de las velocidades se utilizó el cronómetro, con el cual sobre una distancia de 50m marcada sobre el pavimento, se midieron los tiempos que tardaron los vehículos en recorrerla. Las mediciones se realizaron en períodos de baja circulación de tráfico con un total de 191 vehículos observados en el tiempo en el que el dato de campo fue obtenido, de los cuales solo se tomó en cuenta de acuerdo a la velocidad de diseño de la carretera que es de 60km/h a los primeros 71 vehículos que circulaban a flujo libre. La velocidad se obtuvo dividiendo la distancia prefijada en metros entre el tiempo que se demoró el vehículo en recorrerla. Los registros de campo se muestran en el anexo II.

Tabla 3.4: Tabla de frecuencias para la determinación de la velocidad en el tramo 1

Intervalo de clase (km/H)	Punto medio (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada		foa x v	foa x v ²
		Absoluta	Relativa (%)	Absoluta	Relativa (%)		
49,37-54,36	51,87	7	9,86	7	9,86	363,09	18833,48
54,37-59,36	56,87	16	22,54	23	32,4	909,92	51747,15
59,37-64,36	61,87	19	26,76	42	59,16	1175,53	72730,04
64,37-69,36	66,87	14	19,72	56	78,88	936,18	62602,36
69,37-74,36	71,87	8	11,27	64	90,15	574,96	41322,38
74,37-79,36	76,87	4	5,63	68	95,78	307,48	23635,99
79,37-84,36	81,87	3	4,23	71	100	245,61	20108,09
Σ		71				4512,77	290979,49

Ancho del intervalo de clase = Amplitud total / m = 32,23km/h / 7 = 4,6km/h = 5km/h

- Amplitud total: Diferencia algebraica entre la medición más grande y la más pequeña.
Amplitud total = 84,10km/h – 51,87km/h = 32,23km/h
- N° de intervalos = 7
Según la siguiente tabla, para este caso el tamaño de la muestra está entre 50 y 100, por tanto se escoge un número de intervalos de 7.

Tabla 3.5: N° de intervalos

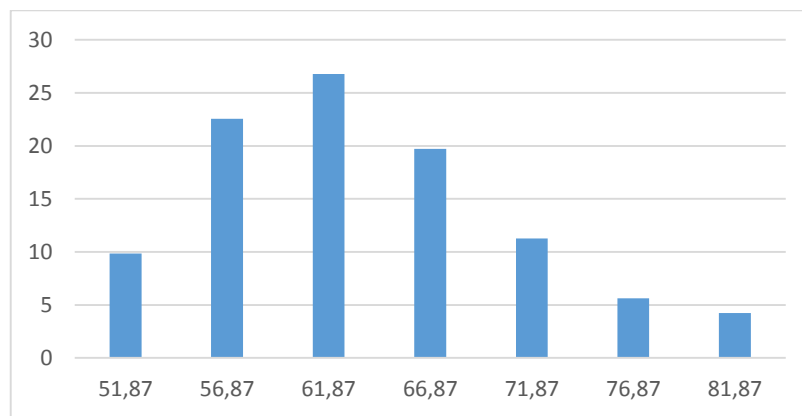
Tamaño de la muestral (n)	N° de intervalos (m)
---------------------------	----------------------

50-100	7-8
100-1000	10-11
1000-10000	14-15
10000-100000	17-18
Mayor de 100000	1+3,3log(n)

Velocidad promedio del tramo: $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^m f \cdot v}{n} = \frac{4512,77}{71} = 63,56 \text{ km/h}$

Desviación estándar: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f \cdot (v_i - \bar{v})^2)}{n-1}} = \sqrt{\frac{290979,49 - \frac{(4512,77)^2}{71}}{71-1}} = 7,70 \text{ km/h}$

Gráfico 3.2: Frecuencia observada relativa en % vs velocidad en km/h del tramo 1



3.3.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación

Determinación de la velocidad a flujo libre medida en campo (FFS):

$$FFS = SFM + 0,0125 \frac{V_f}{f_{HV}} = 63,56 + 0,0125 \frac{191}{0,665} = 67,15 \text{ km/h}$$

Donde:

- SFM = 63,56km/h
- $V_f = 191 \text{ veh/h}$
- $f_{HV} = \frac{100}{100 + P_t(E_t-1) + P_R(E_R-1) + P_o(E_o-1) + P_{VTA}(E_{VTA}-1) + P_C(E_C-1) + P_M(E_M-1)} = 0,665$

Datos:

$$P_t = 7\%, E_t = 2,0$$

$$P_o = 9\%, E_o = 1,5$$

$$P_{vta} = 1\%, E_{vta} = 2,6$$

$$P_c = 16\%, E_c = 1,4$$

$$P_m = 22\%, E_m = 2,4$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo (V_p):

$$V_p = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} = \frac{911}{0,886 \times 1,00 \times 0,665} = 1546,19 \text{ veh/h}$$

Donde:

- $V = 911 \text{ veh/h}$
- $FHP = 0,886$
- $f_G = 1,00$, según la tabla 2.13 para vías bidireccionales con un rango de $>1200 \text{ veh/h}$ para 1675 veh/h y con terreno llano
- $f_{HV} = 0,665$

Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS):

$$ATS = FFS - 0,0125 V_p - f_{np} = 67,15 - (0,0125 \times 1546,19) - 2,228 = 45,60 \text{ km/h}$$

Donde:

- $FFS = 67,15 \text{ km/h}$
- $V_p = 1546,19 \text{ veh/h}$
- $F_{np} = 2,228$, según la tabla 2.18, con $V_p = 1546,19 \text{ veh/h}$ y un % de zonas de no adelantamiento = 84,5%

Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF):

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 74,31 + 6,639 = 80,95\%$$

Donde:

- $BPTSF = 100 (1 - e^{-0,000879 V_p}) = 100 (1 - e^{-0,000879 \times 1546,19}) = 74,31\%$
- $F_{d/np} = 6,639$

Determinación del nivel de servicio (NS):

Luego de realizado los cálculos anteriores se entró en la figura 2.1: "Criterio gráfico de niveles de servicio para carreteras de dos carriles en vías clase I", con un valor de PTSF = 80,95% y ATS = 45,60km/h, obteniendo un nivel de servicio E para este tramo.

3.3.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS

Reporte:

Analista: Patricia M. García Castañeda
Agencia: UCLV
Fecha de realización: 31/05/2016
Período de análisis: enero-mayo
Carretera: Santa Clara-Entronque de Vueltas
Lugar: Circunvalación-EPA
Jurisdicción: Santa Clara
Año de análisis: 2016
Descripción: Determinación del nivel de servicio

Datos de entrada:

Clase de la carretera: Clase 1
Ancho de hombro: 6,30m
Ancho de carril: 3,20m
Longitud del segmento: 2,00km
Tipo de terreno: Llano
Volumen de la hora pico: 549veh/h
Reparto por sentido de circulación: 50/50%
Factor de hora pico (FHP): 0,85
% Camiones y autobuses: 25%
% Vehículos recreacionales: 0%
% Zonas de no adelantamiento: 85%
Cantidad de accesos por kilómetros: 10ptos/km

Velocidad media de viaje:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,952
Demanda de tasa de flujo (V_P): 678veh/h
Proporción direccional en el carril más alta: 339veh/h

Velocidad a flujo libre medida en campo:

Velocidad media del tráfico (SFM): 64km/h
Tasa de flujo observada (V_f): 191veh/h
Velocidad a flujo libre (FFS): 66,50km/h

Factor de ajuste por el efecto de las zonas de no adelantamiento (f_{np}): 5,20km/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS): 52,80km/h

Porcentaje de demora en tiempo:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20

Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
 Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,952
 Demanda de tasa de flujo (V_p): 678veh/h
 Proporción direccional en el carril más alta: 339veh/h
 Base de porcentaje de demora en tiempo (BPTSF): 44,90%
 Factor de ajuste por el efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento ($f_{d/np}$): 17,90
 Porcentaje de demora en tiempo (PTSF): 62,80%

Niveles de servicio y otras medidas:

Nivel de servicio (NS): E
 Proporción entre el volumen y la capacidad (v/c): 0,21
 Periodo pico de viaje en 15 minutos (V_{kmT15}): 323veh.km
 Hora pico de viaje (V_{kmT60}): 1098veh.km
 Período pico de 15 minutos en el tiempo de viaje total (TT15): 6,10veh.h

Nota:

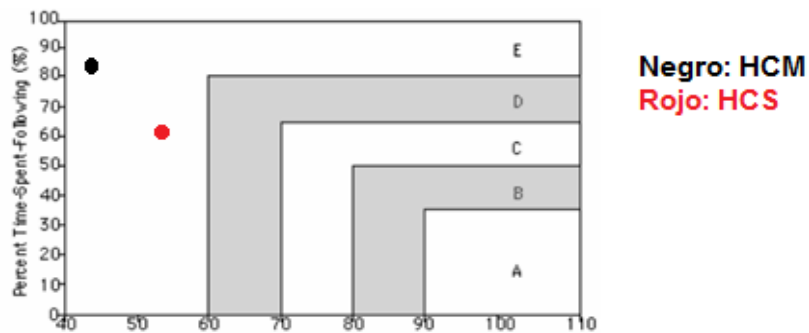
1. Si la $V_p \geq 3\ 200$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.
2. Si la V_p en el sentido direccional es $\geq 1\ 700$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.

3.3.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000

Tabla 3.6: Comparación entre el método manual y el computarizado

Comparación		
Parámetros	Método manual	HCS 2000
Velocidad a flujo libre (FFS)	67,15km/h	66,50km/h
Demanda de tasa de flujo (V_p)	1546,19veh/h	678veh/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS)	45,60km/h	52,80km/h
Porcentaje de demora en tiempo (PTSF)	80,95%	62,80%
Nivel de servicio (NS)	E	E

Gráfica 3.3: Comparación gráfica entre el método manual y el computarizado



3.4. Tramo 2: Escuela Profesional de Arte “Samuel Feijoo”-Cmdte. “Manuel Fajardo”

El estudio se realizó en el tramo comprendido entre la Escuela Profesional de Arte “Samuel Feijoo” situada en el kilómetro 2 hasta la escuela Cmdte. “Manuel Fajardo” en el kilómetro 4, ambos pertenecientes al municipio de Santa Clara. La vía presenta un pavimento flexible, con zonas de dominio público en mal estado, como son los paseos y cunetas. Presenta además una adecuada señalización a todo lo largo de la misma tanto vertical como horizontal, lo que es imprescindible debido a la importancia que supone dicha vía. El terreno es llano en los 2 kilómetros de longitud de la vía.

3.4.1. Características geométricas

Tabla 3.7: Características geométricas para el tramo 2

Características geométricas	2 ^{do} tramo
Ancho de carril	3,10m
Ancho de paseos	1,50m
Densidad de puntos de acceso	7ptos/km
% de zonas de no adelantamiento	50%

3.4.2. Condiciones del tránsito

Tabla 3.8: Condiciones del tránsito para el tramo 2

Condiciones del tránsito	2 ^{do} tramo
Volumen de la hora pico	687veh.mixtos/h, FHP=0,904
Composición vehicular	42% autos, 9% camiones, 1%rastras, 1% tractores, 7% ómnibus, 22% motos, 3% VTA, 15% ciclos
Reparto por sentido de circulación	56/44
Velocidad	66,53km/h

Tabla 3.9: Resumen del aforo vehicular realizado para el tramo 2

Tipos de vehículos	Horas								Totales
	7:00 – 7:15 am.	7:15 - 7:30 am.	7:30 – 7:45 am.	7:45 – 8:00 am.	8:00 – 8:15 am	8:15 – 8:30 am.	8:30 – 8:45 am.	8:45 – 9:00 am.	
Autos	46	96	75	71	94	74	92	51	599
Camión	17	12	16	19	12	13	7	13	109
Rastra	-	1	4	1	-	-	1	-	7
Tractor	3	-	-	4	6	3	2	-	18
Ómnibus	10	14	13	12	9	12	9	7	86
Moto	25	38	35	51	44	48	45	27	313
VTA	7	3	3	9	3	2	2	3	32
Ciclos	22	26	34	20	21	14	20	16	173

Total	130	190	180	187	189	166	178	117	1337
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Volumen de la hora pico:

- La hora pico es de 7:00 a 8:00 con un volumen de 687veh/h
- El flujo máximo para períodos de 15 minutos corresponde al de las 7:15-7:30, con un valor de 190 vehículos mixtos

Por tanto el factor de la hora pico (FHP) de acuerdo a la siguiente ecuación es:

$$FHP = \frac{VHP}{N \times (q_{m\acute{a}x})} = \frac{687}{4 \times 190} = 0,904$$

FHP: Factor de la hora pico

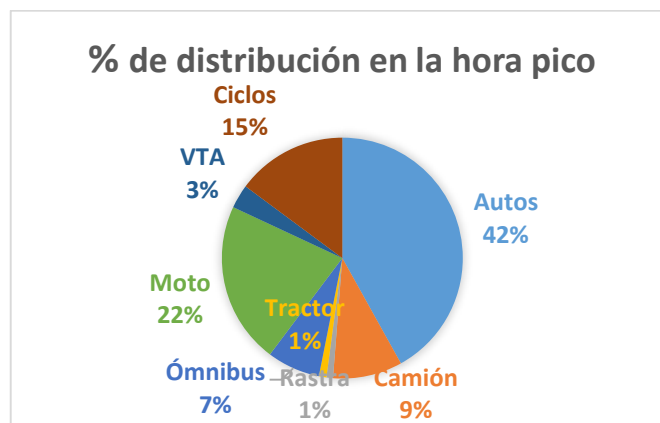
VHP: Volumen de la hora pico

N: Número de períodos durante la hora pico

Q_{máx}: Flujo máximo

Composición vehicular:

Gráfico 3.4: Composición vehicular en la hora pico del tramo 2



Reparto por sentido de circulación:

De los 687 vehículos mixtos que tiene la hora de máxima demanda, 300 que representan un 43,668% ≈ 44% se dirigen con destino a la Universidad y 387 que representan un 56,332% ≈ 56% con destino Santa Clara, por tanto el reparto por sentido de circulación es de un 56/44.

Velocidad:

Para el registro de las velocidades se utilizó el cronómetro, con el cual sobre una distancia de 50m marcada sobre el pavimento, se midieron los tiempos que tardaron los vehículos en recorrerla. Las mediciones se realizaron en períodos de baja circulación de tráfico con un total de 163 vehículos observados en el tiempo en el que el dato de campo fue obtenido, de los cuales solo se tomó en cuenta de acuerdo a la velocidad de diseño de la carretera que es de 60km/h a los primeros 71 vehículos que circulaban a flujo libre. La velocidad se obtuvo dividiendo la distancia prefijada en metros entre el tiempo que se demoró el vehículo en recorrerla. Los registros de campo se muestran en el anexo II.

Tabla 3.10: Tabla de frecuencias para la determinación de la velocidad en el tramo 2

Intervalo de clase (km/H)	Punto medio (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada		foa x v	foa x v ²
		Absoluta	Relativa (%)	Absoluta	Relativa (%)		
48,67-54,26	51,47	5	7,04	5	7,04	257,35	13245,80
54,27-59,86	57,07	13	18,31	18	25,35	741,91	42340,80
59,87-65,46	62,67	15	21,13	33	46,48	940,05	58912,93
65,47-71,06	68,27	17	23,94	50	70,42	1160,59	79233,48
71,07-76,66	73,87	12	16,90	62	87,32	886,44	65481,32
76,67-82,26	79,47	5	7,04	67	94,36	397,35	31577,40
82,27-87,86	85,07	4	5,63	71	100	340,28	28947,62
Σ		71				4723,97	319739,35

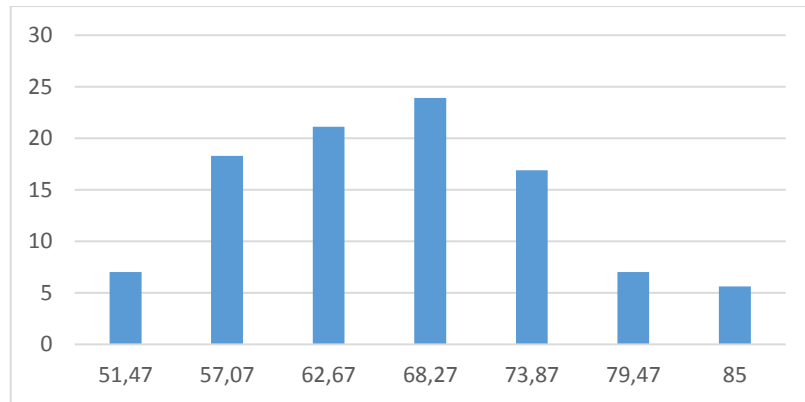
Ancho del intervalo de clase = Amplitud total / m = 35,77km/h / 7 = 5,11km/h = 5,6km/h

- Amplitud total: Diferencia algebraica entre la medición más grande y la más pequeña.
Amplitud total = 87,24km/h – 51,47km/h = 35,77km/h
- N° de intervalos = 7
Según la tabla 1, para este caso donde el tamaño de la muestra está entre 50 y 100 se escoge un número de intervalos de 7.

Velocidad promedio del tramo: $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^m f \cdot v}{n} = \frac{4723,97}{71} = 66,53\text{km/h}$

Desviación estándar: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_1(v_1 - \bar{v})^2)}{n-1}} = \sqrt{\frac{319739,35 - \frac{(4723,97)^2}{71}}{71-1}} = 8,81\text{km/h}$

Gráfico 3.5: Frecuencia observada relativa en % vs velocidad en km/h del tramo 2



3.4.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación

Determinación de la velocidad a flujo libre medida en campo (FFS):

$$FFS = SFM + 0,0125 \frac{V_f}{f_{HV}} = 66,53 + 0,0125 \frac{163}{0,649} = 69,67 \text{ km/h}$$

Donde:

- SFM = 66,53km/h
- $V_f = 163 \text{ veh/h}$
- $f_{HV} = \frac{100}{100 + P_t(E_t - 1) + P_R(E_R - 1) + P_o(E_o - 1) + P_{vTA}(E_{vTA} - 1) + P_C(E_C - 1) + P_M(E_M - 1)} = 0,649$

Datos:

$P_t = 9\%$, $E_t = 2,0$

$P_o = 7\%$, $E_o = 1,5$

$P_{vta} = 3\%$, $E_{vta} = 2,6$

$P_c = 15\%$, $E_c = 1,4$

$P_m = 22\%$, $E_m = 2,4$

Determinación de la demanda de tasa de flujo (V_p):

$$V_p = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} = \frac{687}{0,904 \times 1,00 \times 0,649} = 1170,96 \text{ veh/h}$$

Donde:

- $V = 687 \text{ veh/h}$
- FHP = 0,904
- $f_G = 1,00$, según la tabla 2.13 para vías bidireccionales con un rango de >1200veh/h para 1337veh/h y con terreno llano

- $f_{HV} = 0,649$

Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS):

$$ATS = FFS - 0,0125 V_p - f_{np} = 69,67 - 0,0125(1170,964) - 2,380 = 52,65 \text{ km/h}$$

Donde:

- $FFS = 69,67 \text{ km/h}$
- $V_p = 1170,964 \text{ veh/h}$
- $F_{np} = 2,380$, según la tabla 2.18, con $V_p = 1170,964 \text{ veh/h}$ y un % de zonas de no adelantamiento = 50%

Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF):

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 64,30 + 8,51 = 72,81\%$$

Donde:

- $BPTSF = 100 (1 - e^{-0.000879 V_p}) = 100 (1 - e^{-0.000879 \times 1170,964}) = 64,30\%$
- $F_{d/np} = 8,51$, según la tabla 2.19 con $V_p = 1170,964$, reparto por sentido de circulación de 56/44 y un % de zonas de no adelantamiento = 50%

Determinación del nivel de servicio (NS):

Luego de realizado los cálculos anteriores se entró en la figura 2.1: "Criterio gráfico de niveles de servicio para carreteras de dos carriles en vías clase I", con un valor de $PTSF = 72,81\%$ y $ATS = 52,65 \text{ km/h}$, obteniendo un nivel de servicio E para este tramo.

3.4.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS

Reporte:

Analista: Patricia M. García Castañeda
 Agencia: UCLV
 Fecha de realización: 31/05/2016
 Período de análisis: enero-mayo
 Carretera: Santa Clara-Entronque de Vueltas
 Lugar: EPA-Manuel Fajado
 Jurisdicción: Santa Clara
 Año de análisis: 2016
 Descripción: Determinación del nivel de servicio

Datos de entrada:

Clase de la carretera: Clase 1

Ancho de hombro: 6,20m
Ancho de carril: 3,10m
Longitud del segmento: 2,00km
Tipo de terreno: Llano
Volumen de la hora pico: 414veh/h
Reparto por sentido de circulación: 57/43%
Factor de hora pico (FHP): 0,84
% Camiones y autobuses: 27%
% Vehículos recreacionales: 0%
% Zonas de no adelantamiento: 50%
Cantidad de accesos por kilómetros: 7ptos/km

Velocidad media de viaje:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,949
Demanda de tasa de flujo (V_P): 519veh/h
Proporción direccional en el carril más alta: 296veh/h

Velocidad a flujo libre medida en campo:

Velocidad media del tráfico (SFM): 67km/h
Tasa de flujo observada (V_f): 163veh/h
Velocidad a flujo libre (FFS): 69,10km/h

Factor de ajuste por el efecto de las zonas de no adelantamiento (f_{np}): 4,60km/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS): 58,10km/h

Porcentaje de demora en tiempo:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,949
Demanda de tasa de flujo (V_P): 519veh/h
Proporción direccional en el carril más alta: 296veh/h
Base de porcentaje de demora en tiempo (BPTSF): 36,60%
Factor de ajuste por el efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento ($f_{d/np}$): 18,00
Porcentaje de demora en tiempo (PTSF): 54,60%

Niveles de servicio y otras medidas:

Nivel de servicio (NS): E
Proporción entre el volumen y la capacidad (v/c): 0,16
Periodo pico de viaje en 15 minutos (V_{kmT15}): 246veh.km
Hora pico de viaje (V_{kmT60}): 828veh.km
Período pico de 15 minutos en el tiempo de viaje total (TT15): 4,20veh.h

Nota:

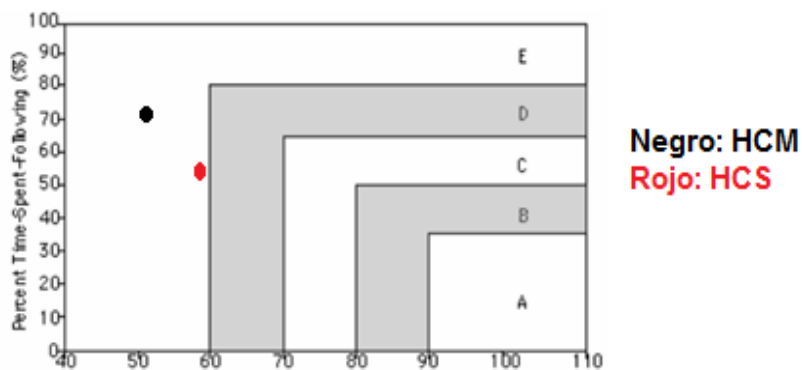
1. Si la $V_p \geq 3\ 200$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.
2. Si la V_p en el sentido direccional es $\geq 1\ 700$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.

3.4.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000

Tabla 3.11: Comparación entre el método manual y el computarizado

Comparación		
Parámetros	Método manual	HCS 2000
Velocidad a flujo libre (FFS)	69,67km/h	69,10km/h
Demanda de tasa de flujo (V_p)	1170,96veh/h	519veh/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS)	52,65km/h	58,10km/h
Porcentaje de demora en tiempo (PTSF)	72,81%	54,60%
Nivel de servicio (NS)	E	E

Gráfico 3.6: Comparación gráfica entre el método manual y el computarizado



3.5. Tramo 3: Cmdte. “Manuel Fajardo”-Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

El estudio se realizó en el tramo comprendido entre la escuela Cmdte. “Manuel Fajardo” situado en el kilómetro 4 y la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas en el kilómetro 6. Este tramo presenta un pavimento flexible con superficie de hormigón asfáltico en caliente, tierra como material de mejoramiento en los paseos y en toda su longitud es de terreno llano.

3.5.1. Características geométricas

Tabla 3.12: Características geométricas para el tramo 3

Características geométricas	3 ^{er} tramo
Ancho de carril	3,30m
Ancho de paseos	1,50m
Densidad de puntos de acceso	4ptos/km
% de zonas de no adelantamiento	55,25%

3.5.2. Condiciones del tránsito

Tabla 3.13: Condiciones del tránsito para el tramo 3

Condiciones del tránsito	3 ^{er} tramo
--------------------------	-----------------------

Volumen de la hora pico	551veh.mixtos/h, FHP=0,769
Composición vehicular	52% autos, 7% camiones, 1%rastras, 1% tractores, 7% ómnibus, 25% motos, 1% VTA, 6% ciclos
Reparto por sentido de circulación	51/49
Velocidad	67,84km/h

Tabla 3.14: Resumen del aforo vehicular realizado para el tramo 3

Tipos de vehículos	Horas								Totales
	7:00 – 7:15 am.	7:15 - 7:30 am.	7:30 – 7:45 am.	7:45 – 8:00 am.	8:00 – 8:15 am	8:15 – 8:30 am.	8:30 – 8:45 am.	8:45 – 9:00 am.	
Autos	41	51	79	62	91	77	48	69	518
Camión	10	16	15	8	10	5	8	15	87
Rastra	11	1	1	-	2	1	4	1	21
Tractor	-	2	2	1	-	2	1	2	10
Ómnibus	7	9	9	13	17	6	9	7	77
Moto	14	22	31	42	44	35	33	28	249
VTA	1	2	1	1	3	1	-	1	10
Ciclos	13	19	19	14	12	5	3	11	96
Total	87	122	157	141	179	132	106	134	1096

Volumen de la hora pico:

- La hora pico es de 8:00 a 9:00 con un volumen de 551veh/h
- El flujo máximo para períodos de 15 minutos corresponde al de las 8:00-8:15, con un valor de 179 vehículos mixtos

Por tanto el factor de la hora pico (FHP) de acuerdo a la siguiente ecuación es:

$$FHP = \frac{VHP}{N \times (q_{m\acute{a}x})} = \frac{551}{4 \times 179} = 0,769$$

FHP: Factor de la hora pico

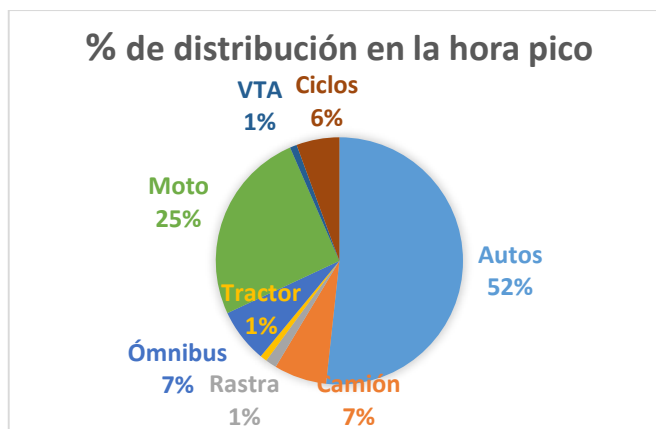
VHP: Volumen de la hora pico

N: Número de períodos durante la hora pico

Q_{máx}: Flujo máximo

Composición vehicular:

Gráfico 3.7: Composición vehicular en la hora pico del tramo 3



Reparto por sentido de circulación:

De los 551 vehículos mixtos que tiene la hora de máxima demanda, 283 que representan un 51,361% ≈ 51% se dirigen con destino a la Universidad y 268 que representan un 48,639% ≈ 49% con destino Santa Clara, por tanto el reparto por sentido de circulación es de un 51/49.

Velocidad:

Para el registro de las velocidades se utilizó el cronómetro, con el cual sobre una distancia de 50m marcada sobre el pavimento, se midieron los tiempos que tardaron los vehículos en recorrerla. Las mediciones se realizaron en períodos de baja circulación de tráfico con un total de 137 vehículos observados en el tiempo en el que el dato de campo fue obtenido, de los cuales solo se tomó en cuenta de acuerdo a la velocidad de diseño de la carretera que es de 60km/h a los primeros 71 vehículos que circulaban a flujo libre. La velocidad se obtuvo dividiendo la distancia prefijada en metros entre el tiempo que se demoró el vehículo en recorrerla. Los registros de campo se muestran en el anexo II.

Tabla 3.15: Tabla de frecuencias para la determinación de la velocidad en el tramo 3

Intervalo de clase (km/H)	Punto medio (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada		foa x v	foa x v ²
		Absoluta	Relativa (%)	Absoluta	Relativa (%)		
48,45-54,14	51,30	3	4,23	3	4,23	153,90	7895,07
54,15-59,84	57,00	12	16,90	15	21,13	684,00	38988,00
59,85-65,54	62,70	12	16,90	27	38,03	752,40	47175,48
65,55-71,24	68,40	19	26,76	46	64,79	1299,60	88892,64
71,25-76,94	74,10	16	22,54	62	87,33	1185,60	87852,96
76,95-82,64	79,80	5	7,04	67	94,37	399,00	31840,20
82,65-88,34	85,50	4	5,63	71	100	342,00	29241,00
Σ		71				4816,50	331885,35

Ancho del intervalo de clase = Amplitud total / m = 36,50km/h / 7 = 5,21km/h = 5,7km/h

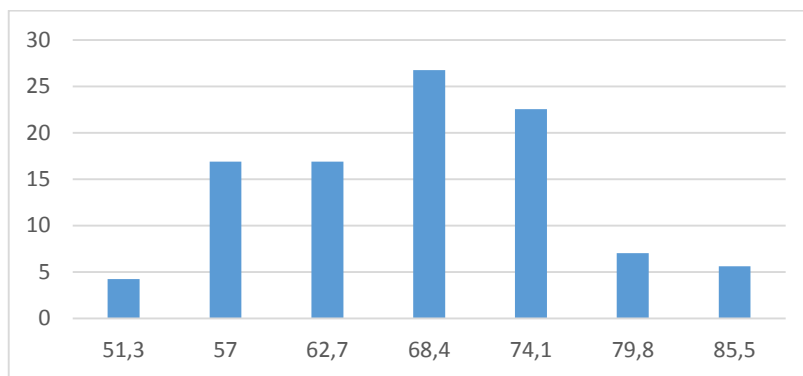
- Amplitud total: Diferencia algebraica entre la medición más grande y la más pequeña.
Amplitud total = 87,80km/h – 51,30km/h = 36,50km/h
- N° de intervalos = 7

Según la tabla 1, para este caso donde el tamaño de la muestra está entre 50 y 100 se escoge un número de intervalos de 7.

Velocidad promedio del tramo: $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^m f \cdot v}{n} = \frac{4816,50}{71} = 67,84\text{km/h}$

Desviación estándar: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_1(v_1 - vt)^2)}{n-1}} = \sqrt{\frac{331885,35 - \frac{(4816,50)^2}{71}}{71-1}} = 8,57\text{km/h}$

Gráfico 3.8: Frecuencia observada relativa en % vs velocidad en km/h del tramo 3



3.5.3. Aplicación de la metodología establecida en el HCM versión 2000, para la determinación del NS en carreteras rurales de dos carriles de circulación

Determinación de la velocidad a flujo libre medida en campo (FFS):

$$FFS = SFM + 0,0125 \frac{V_f}{f_{HV}} = 67,84 + 0,0125 \frac{137}{0,669} = 70,40\text{km/h}$$

Donde:

- SFM = 67,84km/h
- $V_f = 137\text{veh/h}$
- $f_{HV} = \frac{100}{100 + P_t(E_t - 1) + P_R(E_R - 1) + P_O(E_O - 1) + P_{VTA}(E_{VTA} - 1) + P_C(E_C - 1) + P_M(E_M - 1)} = 0,669$

Datos:

$P_t = 7\%$, $E_t = 2,0$

$$P_o = 7\%, E_o = 1,5$$

$$P_{vta} = 1\%, E_{vta} = 2,6$$

$$P_c = 6\%, E_c = 1,4$$

$$P_m = 25\%, E_m = 2,4$$

Determinación de la demanda de tasa de flujo (V_p):

$$V_p = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} = \frac{551}{0,769 \times 1,00 \times 0,669} = 1071,024 \text{veh/h}$$

Donde:

- $V = 551 \text{veh/h}$
- $FHP = 0,769$
- $f_G = 1,00$, según la tabla 2.13 para vías bidireccionales con un rango de >600-1200veh/h para 1096veh/h y con terreno llano
- $f_{HV} = 0,669$

Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS):

$$ATS = FFS - 0,0125 V_p - f_{np} = 70,40 - 0,0125(1071,024) - 2,829 = 54,18 \text{km/h}$$

Donde:

- $FFS = 70,40 \text{km/h}$
- $V_p = 1071,024 \text{veh/h}$
- $F_{np} = 2,829$, según la tabla 2.18, con $V_p = 1071,024 \text{veh/h}$ y un % de zonas de no adelantamiento = 55%

Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF):

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} = 61,00 + 10,34 = 71,34$$

Donde:

- $BPTSF = 100 (1 - e^{-0,000879 V_p}) = 100 (1 - e^{-0,000879 \times 1071,02}) = 61,00$
- $F_{d/np} = 10,34$, según la tabla 2.19 con $V_p = 1071,02$, reparto por sentido de circulación de 51/49 y un % de zonas de no adelantamiento = 55,25%

Determinación del nivel de servicio (NS):

Luego de realizado los cálculos anteriores se entró en la figura 2.1: "Criterio gráfico de niveles de servicio para carreteras de dos carriles en vías clase I", con un valor de PTSF = 71,34 % y ATS = 54,18km/h, obteniendo un nivel de servicio E para este tramo.

3.5.4. Aplicación del programa computarizado HCS, para la determinación del NS

Reporte:

Analista: Patricia M. García Castañeda
Agencia: UCLV
Fecha de realización: 31/05/2016
Período de análisis: enero-mayo
Carretera: Santa Clara-Entronque de Vueltas
Lugar: Manuel Fajardo-UCLV
Jurisdicción: Santa Clara
Año de análisis: 2016
Descripción: Determinación del nivel de servicio

Datos de entrada:

Clase de la carretera: Clase 1
Ancho de hombro: 6,60m
Ancho de carril: 3,30m
Longitud del segmento: 2,00km
Tipo de terreno: Llano
Volumen de la hora pico: 375veh/h
Reparto por sentido de circulación: 51/49%
Factor de hora pico (FHP): 0,78
% Camiones y autobuses: 21%
% Vehículos recreacionales: 0%
% Zonas de no adelantamiento: 55%
Cantidad de accesos por kilómetros: 4ptos/km

Velocidad media de viaje:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20
Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,96
Demanda de tasa de flujo (V_P): 501veh/h
Proporción direccional en el carril más alta: 256veh/h

Velocidad a flujo libre medida en campo:

Velocidad media del tráfico (SFM): 68km/h
Tasa de flujo observada (V_f): 137veh/h
Velocidad a flujo libre (FFS): 69,80km/h

Factor de ajuste por el efecto de las zonas de no adelantamiento (f_{np}): 5,00km/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS): 58,50km/h

Porcentaje de demora en tiempo:

Factor de ajuste por pendiente (f_G): 1,00

Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para camiones: 1,20
 Coeficiente de equivalencia pasajero-automóvil para vehículos recreacionales: 0,00
 Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}): 0,96
 Demanda de tasa de flujo (V_p): 501veh/h
 Proporción direccional en el carril más alta: 256veh/h
 Base de porcentaje de demora en tiempo (BPTSF): 35,60%
 Factor de ajuste por el efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento ($f_{d/np}$): 19,80
 Porcentaje de demora en tiempo (PTSF): 55,40%

Niveles de servicio y otras medidas:

Nivel de servicio (NS): E
 Proporción entre el volumen y la capacidad (v/c): 0,16
 Periodo pico de viaje en 15 minutos (V_{kmT15}): 240veh.km
 Hora pico de viaje (V_{kmT60}): 750veh.km
 Período pico de 15 minutos en el tiempo de viaje total (TT15): 4,10veh.h

Nota:

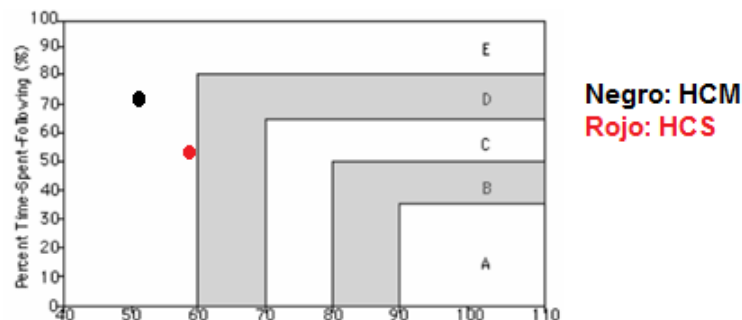
1. Si la $V_p \geq 3\ 200$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.
2. Si la V_p en el sentido direccional es $\geq 1\ 700$ veh/h, se termina el análisis siendo el nivel de servicio F.

3.5.5. Comparación entre el HCM versión 2000 y el HCS versión 2000

Tabla 3.16: Comparación entre el método manual y el computarizado

Comparación		
Parámetros	Método manual	HCS 2000
Velocidad a flujo libre (FFS)	70,40km/h	69,80km/h
Demanda de tasa de flujo (V_p)	1071,02veh/h	501veh/h
Velocidad promedio de recorrido (ATS)	54,18km/h	58,50km/h
Porcentaje de demora en tiempo (PTSF)	71,34%	55,40%
Nivel de servicio (NS)	E	E

Gráfica 3.9: Comparación gráfica entre el método manual y el computarizado



3.6. Análisis de los resultados

Luego de aplicar la metodología establecida por el HCM 2000 y el programa computarizado HCS 2000 para todos los tramos de la carretera, se obtuvo un nivel de servicio E, el cual

corresponde a un flujo inestable, donde la libertad de maniobras para circular es difícil y la comodidad es baja siendo muy elevada la frustración de los conductores. Analizando las gráficas 3.3, 3.6 y 3.9 se puede apreciar como existen diferencias entre los valores obtenidos por el HCM versión 2000 y el programa computarizado, observándose como el programa computacional obtiene resultados más cercanos al nivel de servicio D, esta diferencia se debe a las condiciones de circulación de los EEUU, ya que el mismo no considera el tránsito por vías rurales de VTA, motos y ciclos. Este hecho provocó que no se le introdujeran al programa computarizado los coeficientes de equivalencia, cuyos valores son de 2,60 para los VTA, 2,40 para las motos y 1,40 para los ciclos.

La no introducción de estos factores en el cálculo del nivel de servicio por el método computarizado simula la no existencia de las bicicletas, las motos y los VTA en el tránsito, los cuales tienen una baja velocidad de circulación y si a esto se le suman las restricciones geométricas de la vía por la cual transitan pues disminuyen las oportunidades de ser rebasados por los vehículos ligeros, dando lugar a la formación de columnas en la circulación.

3.7. Conclusiones parciales

- La carretera presenta un nivel de servicio E en todos sus tramos, por lo que la circulación es inestable; la libertad de maniobras para circular es difícil y la comodidad es baja siendo muy elevada la frustración de los conductores.
- A pesar de que el NS por el método realizado manualmente con la inclusión de los coeficientes para VTA, ciclos y motos y por el computarizado con la inclusión solamente de los coeficientes para vehículos pesados dio E, se pudo apreciar la influencia que tienen los distintos tipos de vehículos en la calidad del servicio ofrecido por la vía al usuario en los diferentes tramos, provocando demoras en el tráfico por su baja velocidad de circulación.

CONCLUSIONES GENERALES

- La NC 53-118-1984, que establece los métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio en vías de flujo ininterrumpido se encuentra obsoleta ya que está basada en la versión de 1965 del Highway Capacity Manual.
- El Highway Capacity Manual versión 2000 se ha convertido en la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y niveles de servicio, el cual constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha y se ha utilizado en otros países con resultados muy positivos, y en donde los procedimientos lo han permitido, se ha incorporado información de estudios locales, adaptando el manual a las condiciones propias de cada país.
- El tráfico de Cuba al ser extremadamente heterogéneo posee diferentes tipos de vehículos, como las motos, bicicletas y vehículos de tracción animal, para los cuales no se han determinado coeficientes de equivalencia, la necesidad de poseer esta información para determinar los niveles de servicio de la manera más exacta posible propició la realización de una revisión bibliográfica sobre estos coeficientes, en diferentes lugares del mundo y se decidió utilizar aquellos valores que poseían características similares a las de Cuba.
- Luego de realizar la determinación del nivel de servicio por ambos métodos, manual y computarizado, se demostró la influencia que poseen los vehículos de tracción animal, ciclos y motos, al observar que la no utilización de los mismos en el método computarizado provocó que existiera una mejor calidad del servicio ofrecido por la vía al usuario en los diferentes tramos.

RECOMENDACIONES

- Realizar posteriores estudios sobre la determinación de los coeficientes de equivalencia para vehículos de tracción animal, ciclos y motos, debido a que el tráfico en Cuba es heterogéneo, donde no existe una norma propia para el cálculo del nivel de servicio que incluya dichos coeficientes, y el Highway Capacity Manual versión 2000 está basado en las condiciones de operación de los EE.UU que no considera el tránsito por vías rurales de estos tipos de vehículos.
- Aplicar la metodología propuesta en el capítulo II del trabajo de diploma en otras carreteras rurales de dos carriles de circulación de interés nacional, siendo actualizadas las investigaciones periódicamente en función del desarrollo que vayan alcanzando las vías y de la evolución de las normas y metodologías existentes en el mundo para tener conocimiento de la calidad del nivel de servicio de las carreteras.
- Exponer los resultados obtenidos en el Centro Provincial de Vialidad, con el fin de tomar medidas para el mejoramiento de la calidad del nivel de servicio que la vía presta a los usuarios y sus características operacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- BOARD, T. R. 2000. Highway Capacity Manual, Estados Unidos.
- CAL Y MAYOR REYES SPÍNDOLA, R. Y. C. G., JAMES 1994. Ingeniería de Tránsito, México.
- CERQUERA ESCOBAR, F. Á. 2007. Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- ESPLUGUES, B. 2011. Modelación de los niveles de servicio en autopistas en tiempo presente para la gestión dinámica del tránsito. Universidad Politécnica de Valencia.
- GIGENA, G. 2008. Capacidad de un sistema vial. UNLP.
- GOUVEA CAMPOS, V. B., SAMPEDRO TAMAYO, AMÍLCAR. 2015. Efecto de los elementos de la infraestructura viaria sobre la seguridad de la circulación.
- LECLAIR, C. R. 2004. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales Guatemala.
- LICUY TAPUY, M. G. 2015. Estudio de la carretera El Calvario desde la entrada a la comunidad de Muyuna hasta la comunidad de Alto Plano, en la Parroquia Tena, provincia de Napo y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del sector. Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato.
- MAHENDRA KUMAR METKARI, A. K. B., AKHILESH KUMAR MAURYA. 2012. Review of passenger car equivalence studies in Indian context
- MARTÍNEZ ALDEÁN, D. F. 2014. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de la vía Loja-Vilcabamba (tramo de estudio Loja-Landanguí) aplicando la metodología del HCM 2000., Universidad Técnica Popular de Loja (Universidad Católica de Loja).
- MEXICANAS, P. D. A. T. E. T. U. P. L. C. M. Manual de estudios de ingeniería del tránsito, México.
- MUÑOZ SUÁREZ, Á. J. 2013. Enlaces. Generalidades. Justificación del enlace. Nomenclatura y definiciones. Tipos de enlaces. Capacidad y nivel de servicio. Tramos de trenzado. Ramales de enlace.
- NARANJO HERRERA, V. H. 2008. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- NC: 53-118-1984, C. E. D. N. N. C. 1984. Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio Cuba, Municipio Habana Vieja.

- NC: 853-2012, C. T. D. N. 2012. Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo., La Habana. Cuba.
- NGUYEN CAO Y, K. S., TRAN VU TU, NGUYEN VAN ANH 2014. Estimating capacity and vehicle equivalent unit by motorcycles at road segments in urban road. Available: nguyeny@stn.nagaokaut.ac.jp, sano@nagaokaut.ac.jp, trvutu@stn.nagaokaut.ac.jp, vananh@stn.nagaokaut.ac.jp.
- NOMBELA, G. 2009. Modelos de capacidad de infraestructuras de transporte. Available: www.evaluaciondeproyectos.es [Accessed 12/4/2016].
- OCORÓ POSSÚ, M. A. 2014. Análisis de capacidad y nivel de servicio del corredor vial Cali-Jamundí Universidad del Valle.
- ORDÓNEZ MOSS, G. A. 2009. Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) versión 2000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras multicarriles Universidad de San Carlos de Guatemala
- PALMA ÁLVAREZ, R. I. 2006. Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2,000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles Trabajo de Diploma, Universidad de San Carlos de Guatemala
- ROESS, R. P. P., ELENA S. MCSHANE, WILLIAM R. 2004. Traffic-Engineering, Estados Unidos.
- SALAZAR CÓRDOVA, G. N. 2015. Estudio de las condiciones de la vía Pasa-La Dolorosa-Lirio-Langojín-Mocaló de las Parroquias Pasa y San Fernando, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua para satisfacer las necesidades del lugar. Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato.
- THOMAS DURBIN, C. 2006. Traffic Performance on two-lane, two-way highways: Examination of new analytical approaches. Montana state university.
- VIAL, C. D. S. 2010. Ley No. 109/2010. Gaceta Oficial de la República de Cuba La Habana, viernes 17 de septiembre del 2010.
- YAHYA R, S. 2014. Passenger car equivalents at signalized intersections for heavy and medium trucks and animal driven carts in Gaza, Palestine. Islamic University of Gaza.
- YARCE MARÍN, Y. G. 2015. Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín., Universidad Nacional de Colombia.
- ZÁRATE TORRES, B. A. S. M., MARÍA SOLEDAD. 2015. Variación temporal de los factores de hora pico y volumen horario en carreteras de dos carriles. Caso de estudio: vía Loja-Zamora. Available: bazarete@utpl.edu.cu

ANEXOS

Anexo 1: Aforo vehicular

Las siguientes tablas muestran el aforo vehicular realizado durante tres días seguidos, un día para cada tramo, en horarios de la mañana de 7:00 a 9:00, con la clasificación y el conteo de los vehículos en períodos de 15 minutos.

Tramo # 1: Santa Clara-Escuela Profesional de Arte Samuel Feijoo (EPA).

Día de la semana: martes

Horario: 7:00 – 7:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	43	31	74
Camión	10	8	18
Rastra	1	-	1
Tractor	-	1	1
Ómnibus	7	2	9
Moto	12	13	25
VTA	-	7	7
Ciclos	11	13	24
Total	84	75	159

Horario: 7:15 – 7:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	45	59	104
Camión	4	9	13
Rastra	-	-	-
Tractor	1	4	5
Ómnibus	17	7	24
Moto	24	28	52
VTA	-	2	2
Ciclos	21	29	50
Total	112	138	250

Horario: 7:30 – 7:45			
-----------------------------	--	--	--

Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	34	67	101
Camión	7	2	9
Rastra	-	-	-
Tractor	4	1	5
Ómnibus	15	8	23
Moto	39	28	67
VTA	-	2	2
Ciclos	25	13	38
Total	124	121	245

Horario: 7:45 – 8:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	58	56	114
Camión	11	10	21
Rastra	1	-	1
Tractor	4	1	5
Ómnibus	10	11	21
Moto	33	24	57
VTA	-	1	1
Ciclos	20	17	37
Total	137	120	257

Horario: 8:00 – 8:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	55	55	110
Camión	9	10	19
Rastra	1	1	2
Tractor	2	1	3
Ómnibus	5	8	13
Moto	26	22	48
VTA	1	2	3
Ciclos	15	14	29

Total	114	113	227
--------------	------------	------------	------------

Horario: 8:15 – 8:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	45	52	97
Camión	10	3	13
Rastra	-	-	-
Tractor	2	1	3
Ómnibus	1	6	7
Moto	24	27	51
VTA	-	5	5
Ciclos	13	15	28
Total	95	109	204

Horario: 8:30 – 8:45			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	47	37	84
Camión	4	4	8
Rastra	-	-	-
Tractor	-	-	-
Ómnibus	7	9	16
Moto	29	17	46
VTA	1	1	2
Ciclos	16	8	24
Total	104	76	180

Horario: 8:45 – 9:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	28	51	79
Camión	3	5	8
Rastra	-	-	-
Tractor	-	-	-
Ómnibus	1	10	11

Moto	12	24	36
VTA	-	-	-
Ciclos	12	7	19
Total	56	97	153

Tramo # 2: Escuela Profesional de Arte Samuel Feijoo (EPA)- Cmdte. "Manuel Fajardo".

Día de la semana: miércoles

Horario: 7:00 – 7:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	22	24	46
Camión	8	9	17
Rastra	-	-	-
Tractor	2	1	3
Ómnibus	7	3	10
Moto	11	14	25
VTA	2	5	7
Ciclos	10	12	22
Total	62	68	130

Horario: 7:15 – 7:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	30	66	96
Camión	6	6	12
Rastra	-	1	1
Tractor	-	-	-
Ómnibus	7	7	14
Moto	17	21	38
VTA	1	2	3
Ciclos	13	13	26
Total	74	116	190

Horario: 7:30 – 7:45			
-----------------------------	--	--	--

Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	22	53	75
Camión	11	5	16
Rastra	4	-	4
Tractor	-	-	-
Ómnibus	8	5	13
Moto	18	17	35
VTA	-	3	3
Ciclos	14	20	34
Total	77	103	180

Horario: 7:45 – 8:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	32	39	71
Camión	8	11	19
Rastra	1	-	1
Tractor	1	3	4
Ómnibus	7	5	12
Moto	27	24	51
VTA	3	6	9
Ciclos	8	12	20
Total	87	100	187

Horario: 8:00 – 8:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	51	43	94
Camión	8	4	12
Rastra	-	-	-
Tractor	3	3	6
Ómnibus	4	5	9
Moto	24	20	44
VTA	-	3	3
Ciclos	11	10	21

Total	101	88	189
--------------	------------	-----------	------------

Horario: 8:15 – 8:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	37	37	74
Camión	9	4	13
Rastra	-	-	-
Tractor	3	-	3
Ómnibus	7	5	12
Moto	31	17	48
VTA	-	2	2
Ciclos	7	7	14
Total	94	72	166

Horario: 8:30 – 8:45			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	41	51	92
Camión	6	2	7
Rastra	1	-	1
Tractor	1	1	2
Ómnibus	3	6	9
Moto	19	26	45
VTA	-	2	2
Ciclos	7	13	20
Total	78	101	178

Horario: 8:45 – 9:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	25	26	51
Camión	5	8	13
Rastra	-	-	-
Tractor	-	-	-
Ómnibus	1	6	7

Moto	18	9	27
VTA	3	-	3
Ciclos	11	5	16
Total	63	54	117

Tramo # 3: Cmdte. "Manuel Fajardo"-Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Día de la semana: jueves

Horario: 7:00 – 7:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	21	20	41
Camión	9	1	10
Rastra	-	1	1
Tractor	-	-	-
Ómnibus	3	4	7
Moto	8	6	14
VTA	1	-	1
Ciclos	7	6	13
Total	49	38	87

Horario: 7:15 – 7:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	26	25	51
Camión	9	7	16
Rastra	-	1	1
Tractor	2	-	2
Ómnibus	4	5	9
Moto	8	14	22
VTA	-	2	2
Ciclos	13	6	19
Total	62	60	122

Horario: 7:30 – 7:45			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total

Autos	27	52	79
Camión	8	7	15
Rastra	1	-	1
Tractor	1	1	2
Ómnibus	5	4	9
Moto	12	19	31
VTA	-	1	1
Ciclos	12	7	19
Total	66	91	157

Horario: 7:45 – 8:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	29	33	62
Camión	2	6	8
Rastra	-	-	-
Tractor	1	-	1
Ómnibus	9	4	13
Moto	25	17	42
VTA	-	1	1
Ciclos	9	5	14
Total	75	66	141

Horario: 8:00 – 8:15			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	53	38	91
Camión	3	7	10
Rastra	1	1	2
Tractor	-	-	-
Ómnibus	7	10	17
Moto	26	18	44
VTA	1	2	3
Ciclos	7	5	12
Total	98	81	179

Horario: 8:15 – 8:30			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	41	36	77
Camión	4	1	5
Rastra	-	1	1
Tractor	-	2	2
Ómnibus	2	4	6
Moto	20	15	35
VTA	-	1	1
Ciclos	3	2	5
Total	70	62	132

Horario: 8:30 – 8:45			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	25	23	48
Camión	1	7	8
Rastra	3	1	4
Tractor	-	1	1
Ómnibus	3	6	9
Moto	13	20	33
VTA	-	-	-
Ciclos	3	-	3
Total	48	58	106

Horario: 8:45 – 9:00			
Vehículos	Santa Clara - UCLV	UCLV – Santa Clara	Total
Autos	34	35	69
Camión	8	7	15
Rastra	1	-	1
Tractor	2	-	2
Ómnibus	2	5	7
Moto	15	13	28
VTA	-	1	1

Ciclos	5	6	11
Total	67	67	134

Anexo 2: Estudios de velocidad

En las siguientes tablas se muestra el estudio de velocidad realizado utilizando el cronómetro, en una distancia de 50m, marcada sobre el pavimento, el cual nos dio el tiempo que tardaban los vehículos en recorrerla. La velocidad se obtuvo dividiendo la distancia prefijada en metros entre el tiempo que se requirió para recorrerla. La cantidad de vehículos tomadas para el estudio fue de 71 vehículos en función de la velocidad de proyecto de la carretera que es de 60km/h.

Tramo # 1: Santa Clara-Escuela Profesional de Arte Samuel Feijoo (EPA).

Número de vehículos	Distancia	Tiempo (seg)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)
1	50	2.87	17.42	62.74
2	50	2.39	20.92	75.31
3	50	3.07	16.29	58.63
4	50	3.08	16.23	58.44
5	50	3.47	14.41	51.87
6	50	2.41	20.75	74.70
7	50	3.03	16.50	59.40
8	50	2.85	17.54	63.14
9	50	2.14	23.36	84.10
10	50	2.48	20.16	72.58
11	50	2.83	16.67	60.01
12	50	2.93	17.06	61.42
13	50	2.86	17.48	62.93
14	50	3.35	14.93	53.75
15	50	3.27	15.29	55.04
16	50	2.98	16.78	60.41
17	50	2.71	18.45	66.42
18	50	3.15	15.87	57.13
19	50	2.83	17.67	63.61
20	50	2.83	17.67	63.61
21	50	2.65	18.87	67.93
22	50	2.87	17.42	62.71
23	50	3.37	14.84	53.42
24	50	2.72	18.38	66.17
25	50	3.17	15.77	56.77
26	50	3.33	15.02	54.07
27	50	3.25	15.38	55.37
28	50	2.87	17.42	62.71
29	50	3.40	14.71	52.96
30	50	2.97	16.84	60.62
31	50	3.11	16.08	57.89
32	50	2.89	17.30	62.28
33	50	2.17	23.04	82.94

34	50	3.25	15.38	55.37
35	50	2.85	17.54	63.14
36	50	3.05	16.39	59.01
37	50	2.77	18.05	64.98
38	50	2.96	16.89	60.80
39	50	3.59	13.93	50.15
40	50	2.44	20.49	73.76
41	50	2.67	18.73	67.43
42	50	2.43	20.58	74.01
43	50	2.85	17.54	63.14
44	50	3.13	15.97	57.49
45	50	3.05	16.39	59.01
46	50	2.79	17.92	64.51
47	50	2.55	19.61	70.60
48	50	2.77	18.05	64.98
49	50	3.00	16.67	60.01
50	50	2.75	18.18	65.45
51	50	2.99	16.72	60.19
52	50	2.61	19.16	68.98
53	50	2.47	20.24	72.86
54	50	2.58	19.38	69.77
55	50	2.63	19.01	68.44
56	50	3.11	16.08	57.89
57	50	2.27	22.03	79.31
58	50	2.69	18.59	66.92
59	50	2.89	17.30	62.28
60	50	2.85	17.54	63.14
61	50	3.23	15.48	55.73
62	50	2.79	17.92	64.51
63	50	3.11	16.08	57.89
64	50	2.21	22.62	81.43
65	50	3.16	15.82	56.95
66	50	2.81	17.79	64.04
67	50	2.53	19.76	71.14
68	50	2.35	21.28	76.61
69	50	3.35	14.93	53.75
70	50	3.11	16.08	57.89
71	50	2.59	19.31	69.52

Tramo # 2: Escuela Profesional de Arte Samuel Feijoo (EPA)-Cmdte. "Manuel Fajardo".

Número de vehículos	Distancia	Tiempo	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)
1	50	c	15.87	57.13
2	50	2.89	17.30	62.28
3	50	3.20	15.63	56.25
4	50	2.92	17.12	61.64

5	50	2.48	20.16	72.58
6	50	2.36	21.19	76.27
7	50	2.55	19.61	70.59
8	50	2.70	18.52	66.67
9	50	3.21	15.58	56.07
10	50	3.13	15.97	57.51
11	50	2.93	17.06	61.43
12	50	2.60	19.23	69.23
13	50	3.01	16.61	59.80
14	50	2.90	17.24	62.07
15	50	3.17	15.77	56.78
16	50	2.28	21.93	78.95
17	50	3.47	14.91	51.87
18	50	2.63	19.01	68.44
19	50	2.43	20.58	74.07
20	50	2.66	18.80	67.67
21	50	2.81	17.79	64.06
22	50	2.50	20.00	72.00
23	50	3.40	14.71	52.94
24	50	2.61	19.16	68.97
25	50	2.86	17.48	62.94
26	50	2.52	19.84	71.43
27	50	2.80	17.86	64.29
28	50	2.57	19.46	70.04
29	50	2.68	18.66	67.16
30	50	2.81	17.79	64.06
31	50	2.97	16.84	60.61
32	50	3.24	15.43	55.56
33	50	3.33	15.02	54.05
34	50	2.71	18.45	66.42
35	50	3.11	16.08	57.88
36	50	3.50	14.30	51.47
37	50	3.21	15.58	56.07
38	50	2.22	22.52	81.08
39	50	2.84	17.61	63.38
40	50	2.73	18.32	65.93
41	50	2.56	19.53	70.31
42	50	3.06	16.34	58.82
43	50	3.00	16.67	60.00
44	50	2.89	17.30	62.28
45	50	2.51	19.92	71.71
46	50	2.71	18.45	66.42
47	50	3.31	15.11	54.38
48	50	2.55	19.61	70.59
49	50	3.00	16.67	60.00
50	50	2.06	24.23	87.24
51	50	2.48	20.16	72.58
52	50	2.23	22.42	80.72
53	50	2.54	19.69	70.87

54	50	3.37	14.84	53.41
55	50	3.28	15.24	54.88
56	50	2.42	20.66	74.38
57	50	2.09	23.92	86.12
58	50	2.34	21.37	76.92
59	50	2.95	16.95	61.02
60	50	2.61	19.16	68.97
61	50	3.11	16.08	57.88
62	50	2.41	20.75	74.69
63	50	2.60	19.23	69.23
64	50	2.63	19.01	68.44
65	50	2.29	21.83	78.60
66	50	2.37	21.10	75.95
67	50	2.51	19.92	71.71
68	50	2.26	22.12	79.63
69	50	2.44	20.49	73.77
70	50	2.33	21.46	77.25
71	50	2.87	17.42	62.72

Tramo # 3: Cmdte. “Manuel Fajardo”-Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

Número de vehículos	Distancia	Tiempo	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)
1	50	3.11	16.08	57.89
2	50	3.43	14.58	52.49
3	50	2.71	18.45	66.42
4	50	2.38	21.01	75.64
5	50	2.55	19.61	70.60
6	50	2.85	17.54	63.14
7	50	2.74	18.25	65.70
8	50	2.61	19.16	68.98
9	50	2.83	17.67	63.61
10	50	2.73	18.32	65.95
11	50	2.46	20.33	73.19
12	50	2.61	19.16	68.98
13	50	3.33	15.02	54.07
14	50	3.01	16.61	59.80
15	50	2.39	20.92	75.31
16	50	2.36	21.19	76.28
17	50	2.53	19.76	71.14
18	50	2.55	19.61	70.60
19	50	2.79	17.92	64.51
20	50	2.65	18.87	67.93
21	50	2.76	18.12	65.23
22	50	2.82	17.73	63.83
23	50	2.34	21.37	76.93
24	50	2.60	19.23	69.23

25	50	2.39	20.92	75.31
26	50	3.25	15.38	55.37
27	50	2.63	19.01	68.44
28	50	2.55	19.61	70.60
29	50	2.99	16.72	60.19
30	50	2.63	19.01	68.44
31	50	2.67	18.73	67.43
32	50	2.09	23.92	86.11
33	50	3.27	15.29	55.04
34	50	3.27	15.29	55.04
35	50	2.63	19.01	68.44
36	50	2.05	24.39	87.80
37	50	3.15	15.87	57.13
38	50	3.39	14.75	53.10
39	50	2.27	22.03	79.31
40	50	2.85	17.54	63.14
41	50	2.06	24.27	87.37
42	50	2.33	21.46	77.26
43	50	2.87	17.42	62.71
44	50	2.05	24.39	87.80
45	50	2.59	19.31	69.52
46	50	2.33	21.46	77.26
47	50	2.63	19.01	68.44
48	50	3.06	16.34	58.82
49	50	2.71	18.45	66.42
50	50	3.51	14.25	51.30
51	50	2.40	20.83	74.99
52	50	2.59	19.31	69.52
53	50	3.09	16.18	58.25
54	50	2.89	17.30	62.28
55	50	2.55	19.61	70.60
56	50	2.63	19.01	68.44
57	50	2.40	20.83	74.99
58	50	3.15	15.87	57.13
59	50	2.85	17.54	63.14
60	50	3.02	16.56	59.52
61	50	3.32	15.06	54.22
62	50	2.56	19.53	70.31
63	50	2.48	20.16	72.58
64	50	2.86	17.48	62.93
65	50	2.51	19.92	71.71
66	50	2.36	21.19	76.28
67	50	2.82	17.73	63.83
68	50	2.74	18.25	65.70
69	50	3.11	16.08	57.89
70	50	2.59	19.31	69.52
71	50	2.38	21.00	75.60

Anexo 3: Accesos a la carretera

En la siguiente figura se muestra el croquis realizado con la cantidad de accesos por kilómetros en cada uno de los tres tramos, los cuales se determinaron con un conteo realizado en el terreno en función del lugar que ocupaban en la vía.

