



La movilidad
es de todos

Mintransporte

Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles

Tercera versión

2020





Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles

Tercera versión

2020





**La movilidad
es de todos**

Mintransporte

Iván Duque Márquez
Presidente de la República de Colombia

Ángela María Orozco Gómez
Ministra de Transporte

Juan Esteban Gil Chavarría
Director General -INVÍAS

Guillermo Toro Acuña
Director Técnico -INVÍAS

Gladys Gutiérrez Buitrago
Subdirectora de Estudios e Innovación -INVÍAS

Neyla Teresa Moreno Vega
Coordinador de Grupo -INVÍAS

Alfonso Montejo Fonseca
Supervisor de Contrato -INVÍAS

Universidad del Cauca
Consultor





Universidad
del Cauca®
Vigada Mineducación

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Aldemar José González Fernández

Coordinadora general del convenio

† Margarita Polanco de Hurtado

Coordinador técnico

Nelson Rivas Muñoz

Profesores participantes:

Carlos Alberto Arboleda Velez

Efraín de Jesús Solano Fajardo

Alexandra Rosas Palomino

Asesor técnico internacional

Jorge José Galarraaga

Profesionales de apoyo

Reina Luz Zambrano Pareja

Ciro Alberto Pabón García

Nancy Paola Gonzáles Idrobo

Andrés Fernando Benavides Ruiz

Juan Daniel Rivas Torijano

Diseño y diagramación

Uriel Ordoñez Hurtado

Cristian David Ordoñez Ordoñez

editorial
UC
Universidad del Cauca

Corrección de estilo

Área de Desarrollo Editorial

Universidad del Cauca

Contenido

Introducción	7
1. Problemas encontrados en la aplicación del manual colombiano	9
2. Definiciones	13
2.1 Definiciones de tramo y sector.	14
2.2 Capacidad y Niveles de Servicio	14
2.2.1 Capacidad.....	14
2.2.2 Nivel de Servicio y parámetros que lo describen	15
3. Principios básicos de la tercera versión del manual.....	17
3.1 Directrices generales para la actualización del manual vigente	17
3.2 Principio del proceso de cálculo	17
3.3 Identificación de factores que influyen en la operación vehicular en carreteras de dos carriles	18
3.4 Tipos de análisis	20
4. Metodología y soporte técnico	21
4.1 Identificación de sectores críticos y típicos	21
4.2 Datos de entrada	21
4.2.1 Variables relativas a la vía.....	21
4.2.2 Variables relativas al tránsito	22
4.3 Método para el cálculo de la Capacidad	22
4.3.1 Descripción de los factores de ajuste	22
4.3.2 Método para el cálculo del Nivel de Servicio.....	24
5. Determinación de los sectores de análisis.....	27
5.1 Sectores críticos	27
5.2 Sectores típicos.....	28

6 Proceso de cálculo de cada sector a analizar..... 29

6.1 Cálculo de la Capacidad 29

6.2 Cálculo del Nivel de Servicio 36

Ejemplo de aplicación 1 43

Ejemplo de aplicación 2 44

Ejemplo de aplicación 3 45

Bibliografía 47

Introducción

El Instituto Nacional de Vías de Colombia —Invías— realiza, en convenio con la Universidad del Cauca, la actualización del *Manual de Capacidad y Nivel de Servicio en carreteras de dos carriles* y la primera versión del *Manual de Capacidad y Nivel de Servicio en vías multicarril*.

Las investigaciones relacionadas con la *Capacidad y el Nivel de Servicio en carreteras de dos carriles* han sido una preocupación permanente del Instituto Nacional de Vías y la publicación de las versiones 1 y 2 del respectivo manual se han constituido en hitos dentro de la ingeniería vial del país.

La Universidad del Cauca inicia las investigaciones relacionadas con la Capacidad y el Nivel de Servicio en carreteras de dos carriles a través de investigaciones relacionadas con el Programa de Maestría en Ingeniería de Tránsito y Transporte, dirigidas por el Doctor Guido Radelat. Fruto de este trabajo aparece la versión 1 del *Manual de Capacidad*. En los años 1996 y 1997 el Instituto Nacional de Vías celebra con la Universidad del Cauca un contrato para adelantar una investigación nacional de Capacidad y Niveles de Servicio. Como resultado final de esta investigación se publica la versión 2 del *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en carreteras de dos carriles*. En el año de 1998 el Instituto Nacional de Vías adopta el Manual para Colombia y su utilización es obligatoria para la infraestructura a cargo del instituto.

El Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca presentan ante la comunidad técnica vinculada al sector vial, la tercera versión del *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en carreteras de dos carriles*, y la primera versión del *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para vías multicarril*.

La Universidad del Cauca presenta un agradecimiento público al Instituto Nacional de Vías por la confianza depositada en su equipo técnico y la colaboración prestada por sus funcionarios.

En este capítulo se presenta la tercera versión del Manual para cálculo de Capacidad y Nivel de Servicio en Carreteras de dos Carriles para Colombia. Como se presenta en los documentos anexos a este manual, a lo largo de la investigación se decide conservar la estructura metodológica del *Manual de Capacidad* en su versión dos. A continuación se presentan algunos conceptos básicos que se mantienen del manual anterior salvo pequeñas variaciones.

1. Problemas encontrados en la aplicación del manual colombiano

En este apartado se presenta un análisis de los problemas detectados en la aplicación del *Manual de Capacidad y Nivel de Servicio en carreteras de dos carriles*, a lo largo de veinte años de ser utilizado en los diferentes proyectos viales colombianos. Es conveniente aclarar que no se trata de desmeritar el estudio anterior sino, por el contrario, complementar un documento que ha sido de mucha utilidad a la ingeniería nacional, con grandes elogios a nivel latinoamericano por su alta calidad técnica, y que ha servido de guía en estudios de otros países de Latinoamérica. Por lo cual, plantear modificaciones es una labor de alta responsabilidad y un gran reto para el grupo de profesionales vinculados al proyecto. En el presente documento se tiene como prioridad modificar solo aquello que ha presentado inconvenientes tras veinte años de utilización, y dejar sin ningún cambio aquellos parámetros que a pesar del tiempo transcurrido continúan vigentes.

El principal problema de las vías de dos carriles es el adelantamiento, y la necesidad de invadir el carril de sentido contrario para poder adelantar un vehículo que viaja a una velocidad menor a la deseada. Para el caso colombiano y después de tener la experiencia de la aplicación del manual a lo largo de veinte años se han encontrado varios inconvenientes, entre los que se destacan:

- Se está aplicando el *Manual de Capacidad* en carreteras de forma indiscriminada sin considerar una clasificación vial de acuerdo con el tránsito, por lo cual se presentan carreteras con bajas especificaciones geométricas y bajos volúmenes de tráfico, que presentan muy buenos resultados en cuanto a Capacidad y malos resultados en Nivel de Servicio. Por ejemplo, una vía con relaciones v/c a 10 años de 0.05, presenta Nivel de Servicio "D", o sea que está próxima a la Capacidad. Esto podría sugerir que es necesario restringir el cálculo de Capacidad a vías con tránsito mayor a un determinado valor.
- Inicialmente se debe definir la metodología a implementar y para esto se deben responder algunas inquietudes; por ejemplo: ¿Cuál es el problema por

el cual no podemos utilizar la metodología del HCS —Highway Capacity Manual— norteamericano?, ¿con la nueva metodología qué problemas vamos a solucionar que no lo podemos lograr con la metodología del HCS? Si se tiene absolutamente clara la ventaja de una metodología nueva, cosa que es bastante arriesgada, se podría optar por alejarse del camino tradicional del cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio en el mundo en los últimos cincuenta años. Es claro que los comportamientos de los usuarios, las características de la infraestructura vial y el tipo de vehículos es diferente en los Estados Unidos comparado con las condiciones colombianas.

- Las carreteras de dos carriles en Estado Unidos y Colombia son muy diferentes en cuanto a la importancia regional y nacional y por lo tanto en el número de vehículos que transitan por ellas. Esta diferencia empieza a disminuir en las vías multicarril y se disminuye aún más en el caso de las autopistas. O sea que en el mundo cada vez se parecen más las vías multicarriles y las autopistas en cuanto a diseño geométrico, y comportamiento de los conductores, aunque en Latinoamérica predomine más la desobediencia en cuanto al uso de los diferentes carriles.
- Otra pregunta interesante es, ¿qué tan aplicable es el *Manual norteamericano* a las condiciones Colombianas? Si la variación es baja no valdría la pena invertir dinero del Estado en investigaciones que llevarían a resultados similares a los obtenidos en los estudios de la red vial americana.
- Sobre este aspecto uno de los mayores inconvenientes que se presenta al aplicar el manual del HCM norteamericano es el porcentaje de vehículos pesados. En la metodología norteamericana estos tiene un límite de 20 % es decir que el porcentaje de vehículos pesados oscila entre 0 % a 20 %. En el caso colombiano es muy extraña la vía que posee menos del 20 % de camiones, y en general en la red vial nacional estos porcentajes están por encima de este valor, llegando a casos en los cuales se supera el 40 %.
- Otro aspecto es la relación peso/ potencia considerando que la red vial del país presenta largos tramos en montaña.

- En cuanto a los buses, ¿se debe incluir a estos vehículos como transporte pesado en el cálculo del Nivel de Servicio? Es decir, se debe sumar al porcentaje de camiones el porcentaje de buses para determinar el efecto de los vehículos pesados. Inicialmente se debe considerar que cualquier conductor en Colombia observa que los buses viajan en pendiente a la misma velocidad que los autos e inclusive a mayor velocidad.
- El efecto de los camiones en la Capacidad no se da por factores de equivalencia. En el caso del factor de ajuste a la Capacidad, Tablas 4 y 9, se mide la reducción a través de tres variables: pendiente, longitud de la cuesta y porcentaje de vehículos pesados. El porcentaje de pesados incluye la suma de los porcentajes de buses y camiones. Se considera que para el Nivel de Servicio solo se debe incluir el porcentaje de camiones, ya que la operación de buses es más cercana a lo de los automóviles. Las cuadros de equivalencia del HCM muestran que los factores de equivalencia de camiones decrecen con el crecimiento del porcentaje de pesados.

En cuanto al Nivel de Servicio se han presentado mayores inconvenientes que en el método de cálculo de Capacidad, a continuación se presentan las observaciones.

- En el manual actual se parte de la asociación entre la comodidad y la velocidad, es decir, un conductor va cómodo y por tanto con un buen Nivel de Servicio si viaja a la velocidad deseada. Para Colombia se consideró que la velocidad en condiciones ideales es de 90 kph. Lo anterior se considera aún vigente luego de analizar la información de campo recolectada en la red vial nacional.
- Como principio del manual se maneja independiente la Capacidad y el Nivel de Servicio, es decir, no existe una correspondencia entre los resultados, por lo que podría presentarse el caso de una muy baja relación Volumen-Capacidad y un Nivel de Servicio E o sea muy próximo a la Capacidad en la definición teórica del modelo de Greenshields.
- La velocidad ideal debe asociarse con la máxima velocidad permitida por la ley y la señalización de la vía, es decir, no se puede pensar que una vía de dos carriles

empiece con una velocidad ideal de más de 100 kph, con el fin de proporcionar un mejor Nivel de Servicio.

- El Nivel de Servicio se ve severamente afectado por el radio de curvatura al tener que controlar la velocidad acorde con el radio de la curva más cerrada, con lo cual si un tramo vial se calcula unos metros antes de una curva de radio restringido, el N de S podría ser A o B y si se desplaza la longitud del tramo unos metros después de la curva el N de S puede ser E, lo cual se presta para adecuar los resultados a las necesidades de un proyecto.
- No se encuentra lógico que al determinar el efecto de los vehículos pesados en el Nivel de Servicio, el factor de ajuste, presente factores mayores que 1, tal es el caso de la Tabla 10, cuando se tiene un 20 % de vehículos pesados y un volumen en ambos sentidos de 300 Veh por hora, el factor es de 1.03. Lo que se podría interpretar como un mejor Nivel de Servicio por la presencia de estos vehículos pesados. Cuando el porcentaje de vehículos pesados es de 30 %, el factor es 1.0 es decir que es intrascendente la presencia de vehículos pesados bajo esta situación.
- Un punto discutible en la metodología actual es el considerar en las correcciones por ancho de carril y berma, anchos de carril de 2.70 cuando en la teoría de las recomendaciones de diseño geométrico y por principio de seguridad vial no se debería tener carriles menores de 3.05 m. Al incluir en los cuadros los carriles de 2.70, indirectamente se podría interpretar que se está autorizando la construcción de carriles de este ancho.
- La superficie de rodadura merece un análisis aparte: ¿por qué el estado de la superficie de rodadura va a afectar el Nivel de Servicio de una vía? Se debe considerar que el estado es algo pasajero, algo que en un período de tiempo se puede subsanar. Sin embargo en Colombia se ha acostumbrado a calcular la Capacidad y el Nivel de Servicio antes y después de un proyecto de pavimentación, de manera que se tiene como una medida para justificar la pavimentación el mejoramiento del Nivel de Servicio. Sin embargo, existen otro tipo de estudios que se ajustan mejor a la justificación de un proyecto de

pavimentación tal como los índices de rugosidad, el efecto sobre los costos de operación y el mismo HDM —Highway Development and Management— que con su modelo de deterioro simula la operación vial a lo largo de la vida útil de la estructura de pavimento. Lo anterior nos induce a pensar que el factor de ajuste por superficie de rodadura debe salir del proceso de cálculo, y para determinar el Nivel de Servicio en una vía con superficie de rodadura en mal o regular estado, se optaría por realizar un estudio de velocidades, con el cual se determina el efecto no solo de la superficie de rodadura sino de todos los factores que afectan el Nivel de Servicio.

- ¿Cómo se calcularía el Nivel de Servicio en una vía con superficie de rodadura deteriorada? Una opción aplicar un método confiable de medición de velocidad en diferentes puntos del tramo vial y posteriormente calcular, con el volumen, el Nivel de Servicio en las curvas, Velocidad contra Flujo. Con este estudio se involucrarían todas las variables geométricas de la vía, tales como pendiente, radio de curvatura, porcentaje de zonas de no adelanto. Este estudio es factible de realizar porque es lógico pensar que si una vía tiene problemas de superficie de rodadura es porque la vía está en funcionamiento y por lo tanto existe en la realidad, situación diferente en el proceso de planeación cuando quiero predecir el comportamiento de una vía que se va a construir con ciertas especificaciones, en la cual sí es importante calcular el efecto sobre la velocidad de cada una de las variables geométricas y operacionales que afectan el Nivel de Servicio.
- En cuanto a la curva más cerrada, este tema ha sido altamente discutido, no puede ser que por una curva de bajas especificaciones se afecte el Nivel de Servicio de todo un tramo vial, así este presente buenas condiciones desde el punto de vista geométrico y operacional. Como último paso de la metodología vigente y después de calcular la velocidad de un vehículo viajando en condiciones ideales afectado por los efectos de la congestión, la superficie de rodadura, el ancho de carril y berma y el efecto de los vehículos pesados se procede a comparar esta velocidad con la velocidad máxima que permite la curva más cerrada, es claro que se está castigando un tramo de carretera

que en algunos casos podría disponer de buenas características geométricas y operacionales porque en una de sus curvas el radio es bajo, lo que afecta el resultado total. Este factor se ha discutido en varios eventos nacionales y se busca remplazarlo por un factor como la tortuosidad o vincularlo al efecto de los factores de equivalencia de vehículos pesados, debido a que al bajar la velocidad se produce un efecto sobre la densidad. Este aspecto se estudiará más adelante.

- Un factor que no se considera en el método es el porcentaje de vehículos en pelotón o sea cuántos vehículos viajan en seguimiento. No importa la velocidad, pero viajar detrás de un vehículo a una distancia apreciable produce cansancio y puede ocasionar que un conductor realice maniobras peligrosas.
- Un caso que llama la atención es cuando la velocidad V_3 es mayor que la velocidad máxima que permite la curva más cerrada. El método sugiere calcular la velocidad media con la hoja de trabajo No 2, con el fin de no castigar el trayecto por una curva que tiene bajas especificaciones, es lógico pensar que este tipo de promedio debe estar entre los valores de velocidad V_3 y V_c (velocidad máxima que permite la curva más cerrada), sin embargo en algunos casos particulares, el valor encontrado con la hoja de trabajo es menor que la V_c , lo cual se sale de la lógica del proceso de cálculo.
- Los factores de corrección por pendiente y longitud de la pendiente se han obtenido de datos de los años noventa. En los últimos años, el parque de autos ha tenido un desarrollo tecnológico importante. Se tiene la incertidumbre si estos factores de ajuste son altos.

2. Definiciones

A continuación se presentan algunas definiciones que se utilizan a lo largo del manual.

- Carretera de dos carriles

Una carretera de dos carriles puede definirse como aquella que tiene una calzada con un carril para cada sentido de circulación. Estas carreteras representan el mayor kilometraje de la infraestructura vial del país. Se utilizan para cumplir con una gran variedad de funciones en todas las regiones geográficas y satisfacen gran parte de las necesidades de acceso a fuentes de recursos económicos, culturales, recreativos, etc.

Un factor que influye poderosamente en las características, costo y servicio que proporcionan las carreteras de dos carriles es el tipo de terreno que atraviesan.

- Tipos de terreno

Teniendo en cuenta las condiciones de relieve se consideran cuatro categorías de terreno:

Terreno plano: generalmente tiene pendientes transversales a la vía menores a cinco grados. Exige mínimo movimiento de tierras en la construcción de carreteras, y no presenta dificultad ni en su trazado ni en su explanación, por lo que las pendientes longitudinales de las vías son normalmente menores del 3 %.

Terreno ondulado: se caracteriza por tener pendientes transversales a la vía de 6 a 9 grados. Requiere moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación, así como pendientes longitudinales típicamente del 3 al 6 %.

Terreno montañoso: las pendientes transversales a la vía suelen ser de 13 a 40 grados. La construcción de carreteras en este terreno supone grandes movimientos de tierras, por lo que presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Pendientes longitudinales de las vías del 6 al 8 % son comunes.

Terreno escarpado: aquí las pendientes del terreno transversales a la vía pasan con frecuencia de 40 grados. Para construir carreteras se necesita máximo movimiento de tierras y existen muchas dificultades para el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas, en el recorrido de la vía. Por lo tanto, abundan las pendientes longitudinales mayores del 8 %.

- Características de la vía

Las características de la vía son todos aquellos elementos físicos propios del diseño geométrico, que tienen influencia directa o indirecta en la Capacidad y el Nivel de Servicio, como los que se mencionan a continuación:

Alineamiento horizontal y vertical: en el diseño en planta o alineamiento horizontal, la velocidad de diseño es norma de control para los radios de curvatura, los peraltes y las distancias de visibilidad que determinan la seguridad en el tránsito. Esa velocidad, por razones de economía en la explotación, debe ser la más uniforme y alta que permitan las condiciones topográficas de la zona escogida y los recursos con que se cuente para la construcción.

En el diseño en perfil o alineamiento vertical, la influencia de las pendientes es notable en la restricción de las velocidades que puedan desarrollar los vehículos, particularmente los de mayor peso.

El criterio general básico es el de buscar la mayor armonía posible entre ellos para lograr un proyecto debidamente equilibrado de características, tales que el conductor normal pueda sin ninguna dificultad mantener una velocidad de operación que, siendo próxima a la velocidad de diseño, le ofrezca ciertas condiciones mínimas de seguridad y de comodidad.

Calzada: es la zona de la carretera destinada a la circulación normal de los vehículos. En carreteras de dos carriles con circulación en ambos sentidos, el ancho de la calzada está dado por la suma de los anchos de esos dos carriles.

En el país existen especificaciones sobre el ancho de carril dependiendo del tipo de carretera; los anchos más usuales son: 3.65 m, 3.5 m, 3.3 m, 3.0 m, anchos menores no son recomendables de acuerdo con el manual de diseño geométrico vigente.

Berma: es la parte exterior del camino, destinada a la parada eventual de vehículos, tránsito de peatones, bicicletas, etc., de manera que estos no interfieran con la circulación normal de los demás vehículos. También proporcionan soporte lateral al pavimento y a veces pueden incrementar el ancho efectivo de la calzada.

Los anchos de bermas más utilizados en el país son: 1.8 m, 1.5 m, 1.0 m y 0.5 m.

Obstáculos laterales: todo obstáculo lateral tal como muros, árboles, postes, señales, etc., debe situarse a una distancia superior de 1.80 m del borde de la calzada para disminuir el riesgo de choques contra ellos y para que no constituyan una obstrucción psicológica a la circulación normal de los vehículos, lo cual puede reducir el Nivel de Servicio y la Capacidad de la vía. Se recomienda para nuevos diseños viales en terreno plano, ampliar la zona de seguridad hasta los 6 m, bajo el concepto de vías perdonantes, es decir una franja de seguridad sin obstáculos a ambos lados de la vía.

o poblaciones de importancia. Se identifica con cuatro dígitos de los cuales los dos primeros son los de la ruta a la que pertenece.

Para los fines de este documento se hacen las siguientes definiciones:

Sector: es la parte de un tramo definido para realizar un estudio de Capacidad y Niveles de Servicio. Se identifica con el número del tramo y los Puntos de Referencia (PR) inicial y final.

Sectores críticos: son aquellos que presentan factores, tales como características geométricas deficientes (altas pendientes, altos grados de tortuosidad, carriles y bermas angostas). Cuando se presente gran demanda en el tramo, este sería el primer sector en congestionarse.

Sectores típicos: son los que representan un conjunto medio de condiciones que generalmente se repiten a lo largo de un tramo (o segmento) de una vía. Sus características se encuentran dentro de ciertos límites preestablecidos por el usuario; por ejemplo: pendientes del 3.5 al 4.4 %, carriles de 3.20 a 3.40 m, ancho de berma entre 1.60 y 1.80 m, etc. En los sectores típicos se estudia como parámetro fundamental el Nivel de Servicio.

2.1 Definiciones de tramo y sector.

Las carreteras del país han sido clasificadas mediante un sistema determinado por el Instituto Nacional de Vías, así:

Ruta: es aquella carretera cuya función primordial es la integración de índole nacional, regional. Se denominan vías troncales cuando van de sur a norte y transversales cuando van de oriente a occidente. Se identifica con dos dígitos, pares si se trata de una transversal e impares si se trata de una troncal.

Tramo (o segmento): subdivisión de una ruta con longitud no mayor de 150 km numeradas en forma continua. Los puntos de iniciación y terminación de cada tramo deben corresponder en lo posible a sitios

2.2 Capacidad y Niveles de Servicio

A continuación se presentan las definiciones sobre Capacidad y Nivel de Servicio.

2.2.1 Capacidad

Se define la Capacidad de una carretera de dos carriles como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito. La Capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores de una hora. El valor de la Capacidad depende de la duración del período en que se mida.

Este valor de la Capacidad definido para “condiciones imperantes” difiere del volumen máximo que puede circular por la vía en un momento dado. El volumen máximo posible depende de factores tales como la composición vehicular, la velocidad de circulación y las condiciones atmosféricas, que pueden cambiar en cualquier momento. Si el volumen máximo posible disminuye y resulta momentáneamente menor que la demanda del tránsito, ocurrirá congestión, al no poder pasar por un punto de la vía todos los vehículos que llegan a ese punto. En este caso muchos vehículos deberán detenerse, formar una cola y ponerse en movimiento nuevamente, circulando con un volumen menor que el volumen que llegaba antes de la detención, lo que disminuye la velocidad de la corriente vehicular y por ende el volumen máximo posible. Estas circunstancias suelen originar una onda perturbadora de detenciones vehiculares que se propaga corriente arriba hasta que la falta de demanda la disipe. Por consiguiente, es muy peligroso que la demanda de tránsito se aproxime a la Capacidad de una vía. La proximidad a este límite se mide por la relación entre el volumen de demanda y la Capacidad, relación que muchos llaman Factor de utilización de la Capacidad.

Pocas son las carreteras de dos carriles en Colombia donde se alcance la Capacidad. Mucho antes de llegar a ese extremo, la calidad del servicio que prestan esas vías es tan deficiente que generalmente se buscan y encuentran otras alternativas.

El cálculo de la Capacidad parte de una Capacidad máxima en condiciones ideales, la que disminuye a medida que las condiciones particulares de la vía en estudio se apartan de estas. Las condiciones ideales son aquellas en las que no existen restricciones geométricas, de tránsito ni ambientales.

2.2.2 Nivel de Servicio y parámetros que lo describen

Se define el Nivel de Servicio de un sector de una carretera de dos carriles como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan al usar la vía.

Se establecieron dos medidas de efectividad que reflejan esa calidad de servicio, siendo la principal el porcentaje de reducción la velocidad media de los vehículos que transitan por la carretera, de acuerdo con la velocidad ideal para el tramo en estudio. La velocidad media describe el grado de movilidad.

Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, así:

Nivel de Servicio A: representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona.

Nivel de Servicio B: comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno.

Nivel de Servicio C: representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos, deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado.

Nivel de Servicio D: el flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.

Nivel de Servicio E: representa la circulación a Capacidad cuando las velocidades son bajas, pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a Capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a Capacidad, en condiciones de inseguridad.

Nivel de Servicio F: representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la Capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a Capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas y las operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente.

Cálculo del Nivel de Servicio: este se realiza independientemente del estimativo de la Capacidad. Al igual que la Capacidad, el Nivel de Servicio se calcula partiendo de una velocidad en condiciones casi ideales, la que se va reduciendo mediante la aplicación de distintos factores de corrección.

3. Principios básicos de la tercera versión del manual

En este numeral se incluyen algunos de los principios básicos tenidos en cuenta en la preparación del manual de Capacidad y Niveles de Servicio.

3.1 Directrices generales para la actualización del manual vigente

Para la actualización del manual se consideran los siguientes criterios:

- Se conserva el criterio de cálculo independiente para determinar la Capacidad y el Nivel de Servicio.
- No se considera el efecto de la superficie de rodadura. Cuando se requiera estudiar una vía con superficie de rodadura en mal estado, se recomienda realizar un estudio de velocidades, y utilizando la Tabla 11 proceder a determinar el Nivel de Servicio, con este procedimiento se evita el tener que realizar un estudio de daños en la vía o determinar el IRI —Índice de Rigurosidad Internacional—.
- Se confirma la conveniencia de calcular la Capacidad y el Nivel de Servicio por separado. La geometría de las carreteras colombianas, las características de operación de los vehículos ante todo los vehículos pesados, el alto porcentaje de pesados circulando por muchos tramos y en sectores de alta montaña, hacen que la consistencia entre la relación Volumen-Capacidad y la calidad del servicio (Nivel de Servicio) no se den en la mayoría de las carreteras de dos carriles en Colombia.
- La Capacidad se calcula para los dos sentidos de circulación y no por sentido de circulación, como en el actual procedimiento del HCM 2010 (*Highway Capacity Manual*). Lo anterior debido a que el grupo investigador considera que en las vías de dos carriles bajo los volúmenes que se presentan en Colombia, es frecuente el adelantamiento. En Estados Unidos son vías de tipo turístico o vías que comunican pequeños condados, en Colombia las vías de dos carriles son el eje del desarrollo nacional.

- Cuando los volúmenes son altos, no se considera que se pueda aislar el comportamiento de un carril, debido a que la operación de un sentido en una vía de dos carriles, necesariamente se ve afectada por lo que suceda en el carril de sentido contrario, debido a las limitantes que se producen en el adelantamiento.
- Para el cálculo del Nivel de Servicio el factor de efecto de vehículos pesados debe incluir solamente los camiones, debido a que los buses viajan a la misma velocidad que los autos.

3.2 Principio del proceso de cálculo

- Separación del cálculo de Capacidad y Nivel de Servicio

Uno de los cambios más sobresalientes del manual con respecto al método del Highway Capacity Manual de los Estados Unidos —HCM—, es el cálculo separado de la Capacidad y el Nivel de Servicio, principio que rige la formulación del método colombiano. Este principio se mantiene en esta tercera versión del manual, debido a que tras veinte años de aplicación, los resultados obtenidos con el método han sido buenos y coherentes con las características geométricas y operacionales de la red vial nacional.

El proceso de cálculo se realiza para vías existentes recolectando toda la información de campo necesaria; y para vías nuevas evaluando diferentes características geométricas de manera que se ajusten a los resultados esperados por el diseñador.

Los parámetros para el cálculo de la Capacidad y el Nivel de Servicio son distintos. Para la Capacidad se usa el volumen, cuyo inverso es el intervalo medio; para el Nivel de Servicio se utiliza la velocidad media de recorrido. El intervalo se compone del paso (que varía proporcionalmente a la velocidad) y la brecha (que es bastante insensitiva a los cambios de velocidad), de manera que las variaciones en la velocidad no producen variaciones proporcionales en el intervalo medio y por ende en el volumen máximo. Por ello se usan factores de corrección diferentes y su cálculo se efectúa por separado. Sin embargo, esta forma de cálculo independiente de la Capacidad y el Nivel de Servicio no significa que no exista

relación entre ellos. El nexo entre ellos se da en el factor de utilización de Capacidad, factor que se considera en el momento de cálculo del Nivel de Servicio.

Por tanto, la secuencia de cálculo debe considerar primero el cálculo de la Capacidad y en segundo lugar el del Nivel de Servicio.

Los factores geométricos ejercen una gran influencia en los resultados de Capacidad y Niveles de Servicio, y su efecto es generalmente superior a los efectos que ocasionan las variables relacionadas con el tránsito.

- Velocidad media de recorrido como medida de efectividad para el Nivel de Servicio

No es posible definir el Nivel de Servicio teniendo en cuenta todas las variables que lo caracterizan. Para ello, en la práctica, se selecciona uno o dos parámetros que estén relacionados con esas variables y se establecen límites de los valores de esas variables que demarcan cada Nivel de Servicio. Observando los datos tomados en las diferentes carreteras del país se notó que la velocidad media de recorrido reflejaba mejor la calidad del servicio que ofrecían las condiciones de la vía y las condiciones del tránsito. Por ello se seleccionó este parámetro como el indicador de efectividad para los Niveles de Servicio, teniendo en cuenta además, que es posible traducirlo a valores monetarios.

En países donde la vía apenas impone limitaciones a la circulación y el tránsito es intenso, también se usa como indicador del Nivel de Servicio el porcentaje de tiempo en que los vehículos van demorados por otros más lentos que los preceden. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión que la velocidad promedio es el indicador más adecuado cuando no existen congestiones generalizadas en la red, sino que son los factores geométricos y de superficie los limitantes principales de la movilidad, como en el caso de Colombia. Se establecieron escalas distintas para cada tipo de terreno, teniendo en cuenta la variación en la tolerancia del usuario según la diversidad del relieve.

- Aplicación de los factores de corrección

Para el cálculo de la Capacidad y el Nivel de Servicio la aplicación de los factores de corrección se realiza en forma simultánea.

- Corrección por tortuosidad del tramo

Uno de los cambios con relación a la Segunda Versión del Manual es el efecto de la curvatura, en lo relacionado con el cálculo de la Capacidad y el Nivel de Servicio. Se determina que para el análisis de un tramo vial se debe considerar no el efecto de la curva de menor radio, sino el efecto de la tortuosidad del tramo en estudio. Esto para evitar situaciones en las cuales un tramo vial presente resultados diferentes por tomar para su análisis una curva o mejorar los resultados si esta curva se deja por fuera del tramo a analizar.

3.3 Identificación de factores que influyen en la operación vehicular en carreteras de dos carriles

Características de operación fundamentales.

En carreteras de dos carriles, el adelantamiento a vehículos más lentos requiere de la utilización del carril del sentido opuesto. Para poder efectuar esta maniobra con seguridad es preciso disponer de una distancia suficiente en el carril de sentido opuesto libre de vehículos y de una distancia de visibilidad adecuada.

A medida que aumentan los volúmenes de tránsito y/o restricciones geométricas, disminuye la posibilidad de adelantar, lo que da lugar a la formación de pelotones, al estar obligados los conductores a ajustar su velocidad de recorrido individual para igualarla a la del vehículo más lento que los preceda. A continuación se presentan los factores que influyen en la circulación.

Efectos de la tortuosidad

Los radios de una curva en un tramo, su consistencia y el coeficiente de fricción entre las llantas de los vehículos y la superficie de rodadura, limitan la velocidad segura.

Efectos de las pendientes

Las pendientes pueden afectar la velocidad de los vehículos de diversas formas.

- **Pendientes ascendentes:** para hacer avanzar a un vehículo en rasantes horizontales, la potencia de su motor debe vencer: la resistencia del aire, la que opone el pavimento a la rodadura y las resistencias internas del propio vehículo. Estas resistencias aumentan en distinta proporción según aumenta la velocidad del vehículo, por lo tanto, producen el efecto de limitar su velocidad. Sin embargo, en pendientes ascendentes el vehículo tiene otra resistencia que vencer: la componente de su peso, paralela a la superficie, que limita aún más su velocidad. Por consiguiente, la capacidad para desarrollar velocidades cuesta arriba es menor que en el plano horizontal y disminuye con lo empinado de la pendiente.

Por otra parte, cuando un vehículo empieza a subir una pendiente ascendente partiendo de un sector horizontal, de una pendiente descendente, o de una ascendente menos empinada, en virtud de las leyes de la inercia, puede empezar a subir a una velocidad mayor de la que la cuesta le permite. Luego, cuando ha recorrido cierta distancia en la pendiente, la energía cinética adicional que llevaba se consume y no podrá avanzar a mayor velocidad de la que le permite la pendiente, su potencia y las otras resistencias, que es lo que se llama “velocidad de régimen”.

Por lo tanto, si suponemos constantes los demás factores, la velocidad máxima de un vehículo cuesta arriba está determinada principalmente por:

- La relación peso/potencia del vehículo.
- La inclinación de la cuesta.
- La longitud de la cuesta.
- La velocidad con que inicia el ascenso.

Como los camiones suelen tener mayores relaciones peso/potencia que otros vehículos, el efecto de la pendiente es muy pronunciado en su velocidad.

- **Pendientes descendentes:** en estas pendientes, la componente del peso paralela a la superficie es una fuerza que favorece su movimiento. Allí el vehículo puede desarrollar mayores velocidades que en rasantes horizontales o pendientes ascendentes.

Sin embargo, muchas veces los conductores de los vehículos no quieren desarrollar las velocidades máximas que les permiten las pendientes por razones de seguridad. En primer lugar, las curvas y otros elementos de la vía los obligan a limitar la velocidad en la misma forma que lo hacen en rasantes horizontales. En segundo lugar, en pendientes descendentes no se tiene control tan completo del vehículo, como en sectores planos, debido a que la componente paralela a la superficie se suma a la inercia del vehículo mientras que disminuye la componente normal y por lo tanto la fuerza de fricción disponible para frenar, por lo que muchas veces el conductor modera su velocidad cuesta abajo más de lo que obligan las restricciones de la vía. En tercer lugar, si la inclinación y el largo de la pendiente descendente pueden impulsar el vehículo y hacerle alcanzar velocidades tan altas que se pierda el control del mismo, el conductor preferirá efectuar el descenso a velocidades algo menores a la máxima posible, para tener un margen de seguridad. Esto se aplica principalmente a los camiones. En pendientes descendentes muy largas e inclinadas, los camiones deben circular con relaciones de cambio bajas, para que la compresión de su motor limite su velocidad, sin que haya que aplicar mucho los frenos. Si estos se aplican excesivamente, pueden recalentarse y perder su efecto, lo que es una condición muy peligrosa que se trata de evitar. Por lo tanto, en pendientes muy fuertes (generalmente de más del 8 por ciento) los camiones descienden cautelosamente a una velocidad casi igual a la que utilizan para ascender.

Efectos de los camiones

Los camiones tienen, en general, mayor tamaño y mayor relación peso/potencia que los demás vehículos, lo que se traduce en las siguientes características que afectan apreciablemente la circulación:

- Ocupan más espacio en la vía.
- Aceleran más lentamente.
- Desarrollan menores velocidades.

Al ocupar mayor espacio, necesitan mayor tiempo para recorrer su propia longitud, es decir, su paso demora más, lo que reduce la Capacidad de la vía. También su mayor longitud limita más las maniobras de sobrepaso.

La aceleración más lenta de los camiones es un impedimento grande al tránsito urbano, pero tiene poco efecto en carreteras de dos carriles.

La menor velocidad de los camiones obliga a los conductores que los siguen a circular a velocidades menores de las que desean, especialmente cuando las oportunidades de sobrepaso son pocas. El resultado es que se reduce la velocidad de la corriente vehicular y por ende el Nivel de Servicio que ofrece la vía. Al reducirse esta velocidad también aumentan los intervalos entre vehículos, lo que significa que el número de vehículos que transita por hora disminuye y baja la Capacidad de la vía.

Para tener en cuenta el mayor efecto que ejercen los vehículos pesados sobre las características del tránsito, se acostumbra a usar las llamadas equivalencias en automóviles, que son unos índices que expresan el número de automóviles que causaría el mismo efecto que un vehículo pesado en particular, sobre cierta característica del tránsito. En la versión tres del manual se presenta el cálculo del efecto de los vehículos pesados utilizando las equivalencias vehiculares.

Efectos por interacción vehicular

Con bajos volúmenes de tránsito los conductores pueden llegar a circular a la máxima velocidad que permite la vía, debido a que la demanda de adelantamiento es baja y el porcentaje de tiempo demorado en tales condiciones es casi nulo. A medida que los volúmenes se acercan a la Capacidad crece la demanda de sobrepaso, mientras que disminuyen las oportunidades para adelantar, por lo que se forman pelotones de vehículos cada vez más largos y se producen demoras cada vez más altas.

Efectos de la distribución por sentido

La distribución por sentidos afecta la eficacia con que funciona una carretera de dos carriles. Si esta distribución es muy desigual, es posible que un sentido de la vía se sature y alcance su Capacidad, mientras que el otro sentido esté lejos de saturarse. Es decir, que el volumen (en ambos sentidos) al que ocurre la Capacidad está afectado por la distribución por sentidos del tránsito.

Zonas de no rebase

El adelanto consiste generalmente en dos cambios de carril. Primero, el conductor de un vehículo adelantante se aproxima al vehículo (o vehículos) que quiere adelantar (vehículos adelantados), se cerciora de que no venga un tercer vehículo en sentido contrario (vehículo opuesto) en una distancia que considera “prudencial”, pasa al carril izquierdo, sobrepasa al otro vehículo (o vehículos) y luego regresa al carril derecho.

La variable que interviene en el cálculo de la Capacidad se refiere al porcentaje de longitud de la vía donde el conductor no encuentra una distancia prudencial para adelantar, y se denomina, porcentaje de zonas de no rebase en el tramo.

3.4 Tipos de análisis

Como regla general, los niveles de servicio de vías se utilizan para realizar análisis de planeación, diseño y operaciones. Este manual no es una excepción a la regla y se puede utilizar para esos tres tipos de análisis. Sin embargo, existe un cambio con respecto a la segunda versión y es el cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio en vías con superficie de rodadura en mal estado o vías en afirmado, para estos casos se debe medir la velocidad del tramo en las horas de mayor tráfico y proceder a determinar el Nivel de Servicio de acuerdo con el tipo de terreno y la velocidad encontrada en los estudio de campo. Uno de los primeros interrogantes que surgen en torno a las aplicaciones del manual es lo relativo a la longitud de la vía que debe someterse al análisis. Tanto la definición de Capacidad como la de Nivel de Servicio se aplican a un sector de la vía. No obstante, si bien parece lógico promediar los niveles de servicio que se van encontrando a lo largo de una vía, la Capacidad de toda una porción aislada de la misma está determinada por el punto de menor Capacidad de esa porción; por lo tanto, no tiene sentido promediar capacidades.

En la parte más poblada de Colombia, debido a las condiciones de relieve predominante, los tipos de terreno que se presentan a lo largo de una carretera entre dos poblaciones varían constantemente; ello obliga a que se definan porciones de vía que reflejen estas variaciones.

4. Metodología y soporte técnico

El método planteado puede realizarse en forma manual o con la aplicación de un *software* de libre acceso.

A continuación se presentan los componentes básicos del método de análisis a aplicar a la carretera en estudio. Se incluyen aquí razones y ecuaciones que explican el modo de proceder del método.

4.1 Identificación de sectores críticos y típicos

Ante la imposibilidad de analizar todos los sectores de un tramo, se recomienda que este método se aplique solamente a sectores críticos y típicos. Si se desea estimar la Capacidad, el análisis se aplica a un sector crítico uniforme de la vía donde aparentemente esta ofrezca la menor Capacidad de un tramo. Si hay que estimar el Nivel de Servicio, se puede aplicar a sectores que no sean uniformes, pero cuyas pendientes sean todas ascendentes en un sentido con discrepancia total en inclinación menor del 2 %. Estos sectores, llamados típicos deben ser representativos de todo un tramo. En ese caso deben utilizarse en el análisis las medias ponderadas (por longitud) de las características del sector o combinación de sectores analizados

Es preciso advertir que aun en los casos en que solo interese estimar el Nivel de Servicio de sectores típicos, hay que calcular también la Capacidad a fin de conocer la utilización de la Capacidad, que es factor de corrección a la velocidad media de recorrido, parámetro que define el Nivel de Servicio.

4.2 Datos de entrada

Los datos que se deben conocer para obtener la información de entrada y posterior aplicación del método son sencillos y relativamente fáciles de obtener a partir de la información estadística que está a disposición de los ingenieros de vías colombianos. Estos datos son los siguientes:

4.2.1 Variables relativas a la vía.

Ancho de carril y ancho de berma

Normalmente la obtención de estos datos no presenta problemas, pero se debe mencionar que cuando se habla de ancho de bermas se trata del ancho de la berma a un solo lado de la calzada, pues se supone una vía con bermas iguales a ambos lados. No se ha previsto el caso de una vía con bermas a un solo costado.

En el caso de vías tortuosas es importante cerciorarse que en las curvas se tenga el sobreancho necesario acorde con el vehículo de diseño. De no ser el caso, se recomienda tomar el valor de ancho de corona en la curva más cerrada, restarle el ancho de bermas y sobreanchos y dividir entre dos para obtener el valor del ancho de carril, pues son frecuentes carreteras de alta montaña con diseños insuficientes en este sentido y donde las mediciones hechas en alineamientos rectos pueden producir errores. El efecto del ancho de carril y del ancho de bermas en la Capacidad es pequeño, pero puede ser importante en el Nivel de Servicio.

Tipo de terreno

Se debe recordar que, aparte de la pendiente longitudinal de la vía, la pendiente transversal o pendiente del terreno también influye en la determinación de este dato, con el fin de no confundir un sector horizontal corto que se encuentre en un ascenso fuerte con un terreno plano. Se recomienda en casos como ese que se utilice el tipo de terreno que esté de acuerdo con la topografía general de la zona y no solamente con la pendiente longitudinal de la vía en el sector estudiado.

Porcentaje de zonas de no rebase

Esta es una variable algo difícil de medir en el campo, y representa las zonas donde no es prudente realizar operaciones de adelantamiento. Una primera aproximación para su estimación es observando la demarcación horizontal de la vía. En la Parte III del manual se proponen valores promedios por tipo de terreno, que pueden ser utilizados en caso de no disponer de información más precisa.

Puentes

Los datos geométricos y de superficie de rodadura del tablero de los puentes se utilizan en este manual sin diferenciarlos de los que provienen de la carretera propiamente dicha, aunque es posible que los puentes ejerzan un efecto psicológico más restrictivo sobre los conductores. Si se trata de puentes estrechos que pueden acomodar dos carriles, sus tableros constituyen de por sí sectores críticos que limitan la Capacidad y disminuyen el Nivel de Servicio en proporción a su longitud. Si son puentes de un solo carril no se pueden analizar por este método, para estos casos podría optarse por un estudio de velocidad en las horas de mayor demanda.

4.2.2 Variables relativas al tránsito

Volumen total en ambos sentidos: en Colombia este dato se puede obtener utilizando los aforos que se realizan por parte del Instituto Nacional de Vías — Invías— anualmente en la red nacional o por la Agencia Nacional de Infraestructura en caso de las carreteras concesionadas.

Porcentaje de tránsito en ascenso: la precisión en su determinación puede influir en la exactitud de las conclusiones que se alcanzan al utilizar el manual. En primer lugar, la distribución asimétrica del tránsito es típica de las carreteras congestionadas en las entradas a las ciudades (las famosas “operaciones retorno” son un ejemplo), y se debe tener en cuenta que este parámetro influye sobre la capacidad de la vía tanto o más que la pendiente. Por lo tanto su determinación correcta es la de mayor importancia.

En segundo lugar, es posible que al analizar una carretera, los peores niveles de servicio no correspondan a la situación de la hora pico. Suele suceder que la operación en los días laborables esté caracterizada por la presencia de vehículos pesados en grandes cantidades (es típica la cifra de 50 % de camiones) con distribuciones por sentido cercanas al 50 %, y su influencia sobre la velocidad puede ser mayor que la de los volúmenes de fin de semana con gran desequilibrio por sentidos (del orden del 80 %) pero compuestos principalmente

por automóviles. Es por lo tanto conveniente en este tipo de vías analizar ambas situaciones: (1) cuando el volumen de tránsito es máximo y (2) cuando el número de camiones es máximo.

Porcentaje de vehículos pesados. Esta información se debe obtener tanto para la hora pico como para toda la semana, al igual que en el caso anterior, en aquellas vías que presenten grandes fluctuaciones de este valor, especialmente en las carreteras en las que existen restricciones al paso de vehículos pesados los fines de semana.

4.3 Método para el cálculo de la Capacidad

4.3.1 Descripción de los factores de ajuste

Con base en observaciones de campo, se considera que la Capacidad de una carretera de dos carriles en Colombia, en condiciones ideales, C_i , es de 3200 automóviles por hora en ambos sentidos.

Los requisitos que definen las condiciones ideales son los siguientes:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos.
- Terreno plano y rasante horizontal.
- Carriles de no menos de 3.65 metros de ancho.
- Bermas de no menos de 1.80 metros de ancho, con superficie de rodadura de calidad inferior a la de la calzada y distinta inclinación.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas.
- Alineamiento recto.
- Ausencia de vehículos pesados.
- Visibilidad adecuada para adelantar.
- Señalización horizontal y vertical óptima.

En el método propuesto, la capacidad para condiciones ideales, C_i , se multiplica por varios factores de corrección, que reflejan el grado en que no se cumplen los requisitos que definen esas condiciones. Los factores transforman esa capacidad ideal en capacidad para las condiciones estudiadas.

Las características de vía y tránsito que tienen en cuenta esos factores de corrección son las siguientes:

Pendientes: las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que pueden desarrollar en rasante horizontal. La reducción se traduce en un aumento en los intervalos entre vehículos que están en un pelotón y, por ende, en una disminución de la Capacidad. Su efecto se considera en el factor de corrección (F_{pe}) de la Tabla 1.

Distribución del tránsito por sentidos: una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga un carril saturado, aunque el volumen de tránsito sea muy bajo en el otro carril. Además, se debe considerar las verdaderas oportunidades de adelantamiento que ofrece el tramo en análisis, medido por el porcentaje de zonas de no rebase. El efecto de estas dos variables se considera con el factor de corrección (F_d) de la Tabla 2.

Anchos de carril y berma utilizable: los carriles y bermas estrechos, más la ausencia o malas condiciones de estas restan confianza a los conductores, lo que se traduce en una disminución de la velocidad, un aumento en los intervalos entre vehículos, y la consiguiente reducción de la capacidad de la vía. El factor que cuantifica este efecto es el F_{cb} de la Tabla 3.

Presencia de vehículos pesados: la Capacidad se puede definir como el número máximo de intervalos entre vehículos que pasan por un punto de una vía en una hora. Los vehículos pesados reducen ese número de intervalos:

- Porque su paso demora más debido a su mayor longitud y a la menor velocidad que desarrollan.
- Porque retardan el paso de vehículos más rápidos que los siguen al obligarlos a reducir su velocidad.

- Porque el aumento del paso de un vehículo produce un incremento del intervalo.

El efecto de la reducción en Capacidad que causan los vehículos pesados está dado por el factor (F_p) de la Tabla 4.

4.3.1.1 Aplicación de los factores de corrección

Para el cálculo de la Capacidad los factores de corrección se aplican en forma simultánea. Por tanto, la capacidad en vehículos mixtos por hora (C_{60}) para esas condiciones, suponiendo que no hay variaciones aleatorias del volumen durante esa hora.

Capacidad en vehículos

$$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

Variaciones aleatorias del volumen de tránsito: cuando el volumen horario que circula por un sector uniforme de una vía se acerca a su Capacidad sin alcanzarla; debido a que existen siempre variaciones aleatorias en la demanda de tránsito, puede suceder que en ciertos momentos la demanda exceda la Capacidad y se produzca congestión. Las consecuencias adversas de estas congestiones momentáneas suelen prolongarse mucho más allá de los momentos donde hay déficit de Capacidad y por ese motivo se trata de evitarlas hasta donde sea posible.

Para tener en cuenta esas variaciones aleatorias del volumen de demanda, en los análisis de Capacidad se puede:

Utilizar el volumen de demanda-horario que corresponda al máximo volumen que ocurra normalmente en una fracción de la hora o, reducir la Capacidad para tener en cuenta ese pico dentro de la hora.

En este método se ha optado por la segunda alternativa. La fracción de hora elegida es de cinco minutos y para reducir la Capacidad se procede a multiplicar la Capacidad horaria por un factor menor que la unidad, que la disminuye en una magnitud igual al aumento aleatorio normal del volumen durante el período de cinco

minutos de mayor demanda. Este factor es el factor de pico horario (FPH), que se debe estimar tomando el valor correspondiente de la Tabla 5. Multiplicando la capacidad C60 por (FPH) se calcula la capacidad C5 en vehículos mixtos (livianos y pesados) por hora, para las condiciones estudiadas, compensando las variaciones aleatorias normales que ocurren durante períodos de cinco minutos.

Capacidad en vehículos

$$C5 = C60 * FPH$$

4.3.2 Método para el cálculo del Nivel de Servicio

4.3.2.1 Indicador de efectividad

El indicador de efectividad principal que se ha escogido para determinar el Nivel de Servicio es la velocidad media de recorrido de los vehículos que integran la corriente vehicular, que comprende vehículos ligeros y pesados. Otro indicador que se debe observar es el grado de saturación o utilización de la Capacidad, que se halla dividiendo el volumen horario de demanda entre la capacidad C_5 , a fin de conocer si la vía está próxima a saturarse o si ya está saturada. No se incluye en el método el porcentaje de tiempo demorado, pues no se ha establecido su relación con otros parámetros conocidos, pero este indicador puede ser útil para determinar la interferencia del tránsito independientemente de la influencia de las condiciones de la vía. Si hay interés en conocerlo, habría que medirlo directamente en vías existentes.

4.3.2.2 Descripción de los factores de ajuste.

La manera de calcular el Nivel de Servicio es similar a la empleada para estimar la Capacidad: se parte de una velocidad para condiciones casi ideales que se va multiplicando por distintos factores de corrección menores que la unidad, hasta convertirla en la velocidad representativa de las condiciones que se estudian. La velocidad ideal, según mediciones de campo, es de 90

kilómetros por hora. Las características de vía y tránsito que se tienen en cuenta en el cálculo de la velocidad media para las condiciones que se estudian son las siguientes:

Pendientes: las pendientes ejercen un efecto directo en el Nivel de Servicio al influir en la velocidad de los vehículos. Las pendientes ascendentes reducen la velocidad y las descendentes pueden aumentarla o disminuirla, pero generalmente las ascendentes son las críticas y así se consideran en este método. A fin de evitar un paso, la Tabla 6 da directamente la velocidad a flujo libre de los automóviles para pendientes de distintas longitudes e inclinaciones. Es la velocidad media que se ha observado en Colombia cuando los automóviles transitan sin interferencia en vías con características ideales, excepto que su rasante no es siempre horizontal. Puede considerarse que esta velocidad V_1 se desarrolla en condiciones casi ideales y su determinación es el punto de partida para el cálculo del Nivel de Servicio.

Utilización de la Capacidad: cualquiera que sean las características de la vía que influyen en la velocidad media de una corriente vehicular, la variedad que existe entre las velocidades a que quieren ir los distintos conductores de vehículos causa interacciones entre ellos. Los conductores más lentos retardan a los más rápidos, mientras que los rápidos no obligan a acelerar a los lentos y, por lo tanto, el efecto de las interacciones es reducir la velocidad media de la corriente vehicular.

Cuando los conductores rápidos pueden adelantar a los lentos, el efecto de las interacciones no es tan grande, pero a medida que la vía se va saturando, los sobrepasos van siendo más difíciles y la velocidad media va disminuyendo. Además, parece que conforme aumenta la densidad los conductores van perdiendo confianza y reducen su velocidad. Lo cierto es que la utilización de la capacidad, medida por la relación Volumen-Capacidad, ejerce un efecto innegable sobre la velocidad de los vehículos. Este efecto está representado por el factor f_v de la Tabla 7. Como se trata de un factor de corrección al Nivel de Servicio medio que se brinda durante una hora, la relación Volumen-Capacidad se calcula dividiendo el volumen de demanda entre la capacidad C60 sin multiplicarla por el factor de pico horario (FPH). Esta relación es menor que la relación volumen/C5 que se

utiliza para observar la probabilidad de ser superada la capacidad durante un pico de cinco minutos.

Anchos de carril y berma: los efectos de las deficiencias en los anchos de carril y berma se hacen sentir más en la velocidad que en la Capacidad. Por esta razón los factores de corrección fcb de la Tabla 8, que tienen en cuenta ese efecto, son menores que los correspondientes Fcb de la Tabla 2.

Presencia de vehículos pesados: estos vehículos desarrollan menores velocidades que los vehículos ligeros y su presencia los retarda. La magnitud de este retardo depende de:

- La velocidad de los automóviles a flujo restringido, pues mientras más rápidamente vayan, mayor será su retardo.
- La inclinación y longitud de la pendiente del sector que se estudia, ya que ambos factores determinan la velocidad de los vehículos pesados.
- El porcentaje de vehículos pesados, porque según aumenta este porcentaje se eleva la probabilidad de que causen interferencia al resto de los vehículos.
- El volumen de tránsito en ambos sentidos, que al aumentar disminuye las oportunidades de sobrepaso e incrementa la longitud de los pelotones detrás de los camiones.

El efecto de los vehículos pesados en el tránsito se tiene en cuenta determinando un factor f_p .

Tortuosidad: para tener en cuenta la curvatura hay que comparar la velocidad en tangente, con la máxima velocidad media en el sector que se estudia para esto se determina la tortuosidad del sector analizado.

Determinación del Nivel de Servicio: una vez conocido el valor de la velocidad media V , se determina el Nivel de Servicio de la Tabla 11. Esta tabla ofrece una escala de acuerdo con la pérdida de velocidad como un porcentaje de la velocidad máxima (90 kph) separada para cada tipo de terreno y para el Nivel de Servicio, tiene en cuenta que las exigencias de los conductores disminuyen a medida

que la topografía se va haciendo más abrupta. La tabla refleja con facilidad pequeños cambios en el diseño detallado de un sector. Mediante la mejora de algunas características de la vía (ancho de carril, berma, radio de curvatura, etc.) se puede modificar el Nivel de Servicio.

4.3.2.3 Aplicación de los factores de corrección

Los factores de corrección para el cálculo del Nivel de Servicio se aplican en forma consecutiva. El procedimiento es el siguiente:

Paso 1. Tomar la velocidad ideal de automóviles a flujo libre, (V_1), de la Tabla 6 conociendo la inclinación de la pendiente ascendente en estudio y su longitud. Se obtiene la velocidad media de automóviles, en condiciones ideales (excepto por pendiente).

Paso 2. Tomar el factor de corrección por el efecto de la utilización de la capacidad (f_u) de la Tabla 7, conociendo la relación Volumen-Capacidad. Ambas variables son las correspondientes a sesenta minutos. Ese volumen se designa con el símbolo Q .

Factor de utilización (v/c) = Q / C_{60}

Paso 3. Tomar el factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma (f_{cb}) de la Tabla 8, conociendo el ancho utilizable de la berma y el ancho del carril.

Paso 4. Se procede a calcular la $V_2 = V_1 \times f_u \times f_{cv}$

Paso 5. Determinar el factor de corrección por presencia de vehículos pesados (f_p) de la Tabla 9, conociendo la inclinación y longitud de la pendiente en estudio se determina el factor de equivalencia camiones E_c (sin considerar los buses como vehículo pesado) y se calcula el factor de ajuste aplicando la formula:

$$f_p = 1 / (1 + \%C(E_c - 1))$$

Paso 6. Determinar el factor de ajuste por tortuosidad del tramo en estudio de acuerdo con la Tabla 10,

es necesario previamente haber determinado la tortuosidad del tramo en estudio.

Paso 7. Se determina la velocidad media (V_M) de acuerdo con la siguiente formula.

$$V_M = V_2 \times f_p \times f_t$$

Paso 8. Se calcula el porcentaje que se ha perdido con respecto a la velocidad ideal.

$$V_i \text{-----} 100 \%$$

$$V_M \text{-----} X$$

Con este valor X determinamos el N de S en la Tabla 11.

La velocidad ideal (V_i) corresponde a 90 kpm.

5. Determinación de los sectores de análisis

El procedimiento para identificar los sectores de análisis donde las características de la vía son uniformes se puede realizar de dos formas:

- En la oficina consultando planos topográficos de la carretera en estudio.
- En la vía mediante consultas, inspección ocular y toma de datos.

5.1 Sectores críticos

Para determinar en la vía los sectores críticos de un tramo, se puede proceder de la siguiente manera:

Labor de oficina: se realiza en tramos existentes o inexistentes, de los cuales se conocen datos sobre sus características geométricas y la composición del tránsito.

Se divide el tramo (o segmento) en subtramos (o subsegmentos), cada uno de los cuales debe cumplir la condición de estar localizado en un mismo tipo de terreno: plano, ondulado, montañoso o escarpado. Es necesario precisar las abscisas de estas subdivisiones, que pueden coincidir o no con la sectorización de la red vial nacional.

Dentro de cada subtramo se organiza en el sentido de abscisado de la vía la información sobre volumen horario pico, distribución por sentido, porcentaje de vehículos pesados, pendiente longitudinal, radios de curvatura, ancho de carril y bermas, y estado de la superficie de rodadura.

Se identifican y delimitan por sus abscisas, los “cuellos de botella” o sectores críticos, donde las características de la carretera limitan la velocidad. También se deben tener en cuenta las características del tránsito, aunque normalmente se supone que son constantes a lo largo de un tramo. Estos sectores (que son excluyentes con los sectores típicos) sirven para estudiar la Capacidad.

El método de este manual se aplica a cada uno de los sectores así identificados. Aquellos sectores que tengan características muy similares se pueden agrupar para fines de cálculo. Los sectores que tengan menor Capacidad o menor Nivel de Servicio serán los críticos.

Labor de campo: se realiza solamente en tramos existentes donde se desee analizar el efecto de cambios en las características de la vía o el tránsito.

Mediante varios recorridos por la vía se identifican los sectores que parezcan ofrecer mayores limitaciones a la velocidad de los vehículos que los recorren. La cooperación de un ingeniero que conozca el tramo es de suma importancia.

Una vez realizada esta identificación preliminar, la condición crítica de los sectores se puede identificar midiendo la velocidad a flujo libre en ellos. En estas vías la velocidad a flujo libre se puede determinar así:

- a. Detener el vehículo observador en la berma antes del sector a estudiar, esperar a que pasen todos los vehículos que estén transitando.
- b. Arrancar el vehículo cuando la vía esté despejada.
- c. Pedir al conductor del vehículo que comunique cuando vaya a la velocidad deseada y cuando lo exprese, observar el velocímetro anotando el valor correspondiente de la velocidad.

Desde luego hay que calibrar, previamente, tanto el velocímetro como el conductor. Se acostumbra a calibrar el velocímetro comparando sus lecturas con medidas de la velocidad puntual realizadas simultáneamente.

El conductor se calibra haciéndolo circular por un sector despejado donde transiten otros vehículos y hallando la relación entre el promedio de las observaciones de su velocidad a flujo libre, en un punto de la vía, y el de la de otros conductores. Es aconsejable observar la velocidad de por lo menos treinta conductores distintos y estar seguro que todos ellos transitan sin ningún impedimento cuando se hacen las observaciones.

Cuando estén plenamente identificados los sectores críticos hay que conocer sus características geométricas, no solamente para calcular la velocidad y el Nivel de Servicio, sino también para saber, si las limitaciones a velocidad a flujo libre se deben a causas transitorias (por ejemplo: bermas o pavimentos en mal estado), o a causas más permanentes (como pendientes y curvas). También es preciso conocer estimativos del volumen de tránsito en los dos sentidos y la composición vehicular.

5.2 Sectores típicos

Se utilizan para estimar el Nivel de Servicio medio de un tramo de carretera de dos carriles que se compone de cierto número de sectores uniformes.

Una vez definidos los sectores críticos, en lo restante de cada subtramo por procedimiento de campo o de oficina, se selecciona al menos un sector típico que sea representativo por condiciones de vía y tránsito, dentro del cual no se presenten intersecciones con otras vías. Estos sectores típicos servirán para determinar el Nivel de Servicio del subtramo.

La longitud total de los sectores estudiados (críticos más típicos), debe fluctuar entre 10 % y 20 % de la longitud total del tramo. Cuando se use más de un sector típico, para determinar el Nivel de Servicio del subtramo se calculará la velocidad media, ponderada respecto a la longitud.

6 Proceso de cálculo de cada sector a analizar

6.1 Cálculo de la Capacidad

Se toma el valor C_i de la capacidad en condiciones ideales (3200 automóviles por hora en ambos sentidos), y se multiplica por varios factores de corrección hasta transformarla en capacidad para las condiciones estudiadas en vehículos de todas clases por hora. El procedimiento a seguir es el siguiente:

$C_i = 3200$ automóviles/hora/ambos sentidos

- Registrar los datos de vía y tránsito del sector estudiado en la Hoja de Trabajo.
- Tomar el factor de corrección por pendiente (F_{pe}) de la Tabla 1, conociendo la pendiente correspondiente al sentido ascendente.
- Tomar el factor de corrección por distribución por sentidos (F_d) de la Tabla 2, conociendo el porcentaje de zonas de no rebase y la distribución por sentidos. Si no se dispone de información relacionada con el porcentaje de zonas de no rebase, se puede utilizar la siguientes indicaciones.

Tipo de terreno	Porcentaje de zonas de no rebase %
Plano	0-20
Ondulado	20-40
Montañoso y Escarpado	40-100

Fuente: elaboración propia.

- Tomar el factor de corrección por ancho de carril y berma, F_{cb} , de la Tabla 3, conociendo el ancho utilizable de la berma y el del carril.
- Tomar el factor de corrección por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes, F_p ,

de la Tabla 4, conociendo la pendiente ascendente, su longitud y el porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones).

- Multiplicar el valor de C_i (3200 automóviles/hora en ambos sentidos) por los factores anteriores para calcular la Capacidad (C_{60}) expresada por el volumen mixto (vehículos livianos y pesados) máximo que pueda circular durante la hora pico sin causar congestión, suponiendo que no hay variaciones aleatorias en ese volumen.

$$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

Ec: Tabla 4

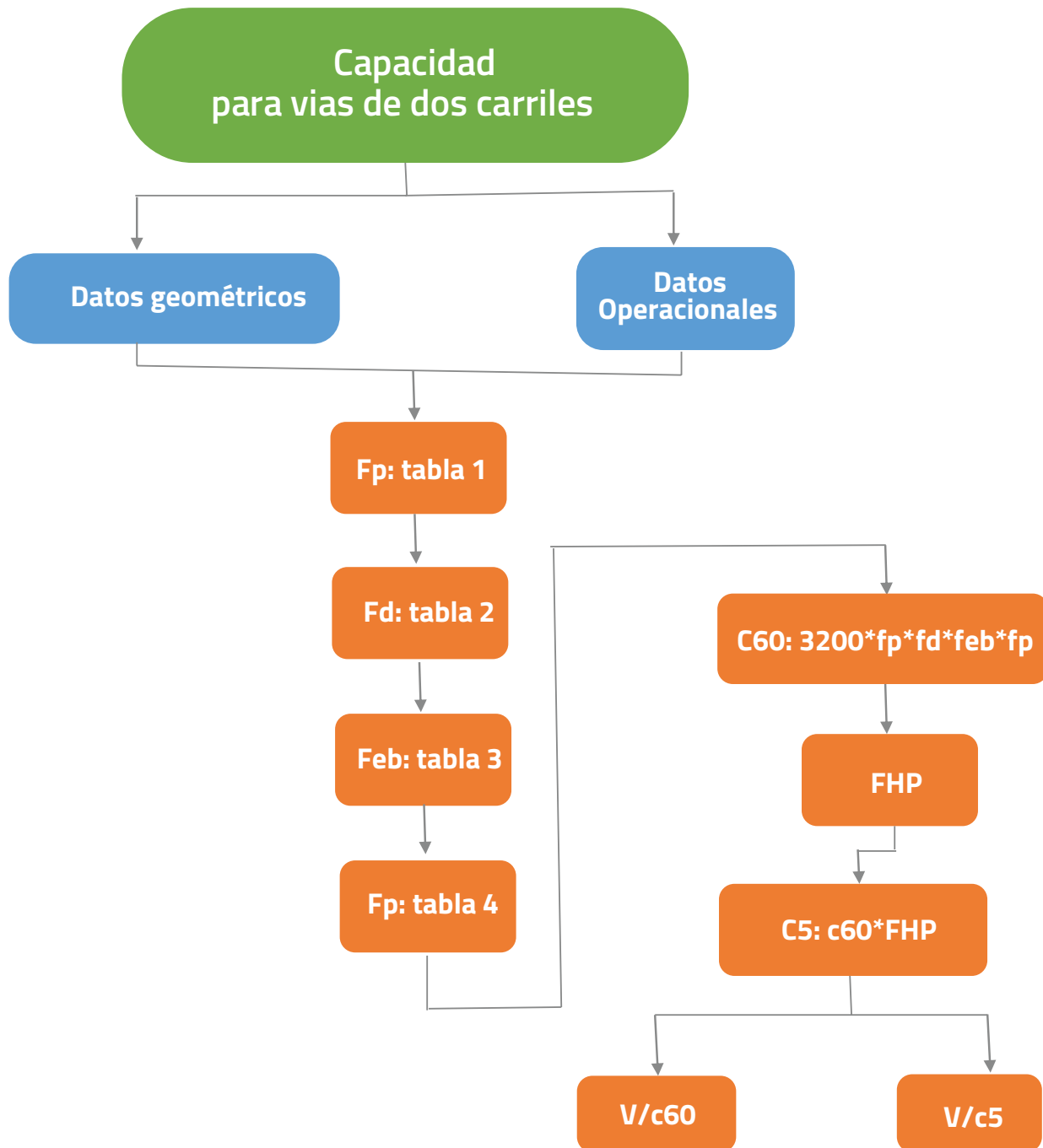
$$F_p = \frac{1}{1 - P_c (E_{cb} - 1)}$$

$P_c = \%B + \%C$

- Multiplicar C_{60} por el factor de pico horario (FPH) para obtener la Capacidad, C_5 , expresada por el volumen mixto máximo que debe circular durante la hora pico para que, normalmente, no se produzca congestión durante el período de cinco minutos de mayor tránsito de esa hora. El FPH se debe tomar de la Tabla 5.

$$C_5 = C_{60} * FPH$$

En el cuadro siguiente se presenta un esquema para calcular la Capacidad.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe).

Pendiente	Longitud de la pendiente (km)											
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.9	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.7	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (F_d)*.

Distribución por sentidos (% en ascenso)	% de zonas de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
50	1	1	1	1	1	1
60	0.9	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70	0.82	0.8	0.78	0.76	0.74	0.71
80	0.75	0.72	0.7	0.67	0.65	0.63
90	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb})*.

Berna	Ancho de carril (m)			
	3.65	3.5	3.3	3
1.8	1	0.99	0.98	0.96
1.5	0.99	0.99	0.98	0.95
1.2	0.99	0.98	0.97	0.95
1	0.99	0.98	0.97	0.94
0.5	0.98	0.97	0.96	0.93
0	0.97	0.96	0.95	0.92

Fuente: elaboración propia.

1 ARCINIEGAS RUEDA, Ismael Enrique y SEPULVEDA SÁNCHEZ, Daniel. Estudio sobre el efecto de la distribución por sentidos en la capacidad para carreteras de dos carriles. Santafé de Bogotá. 1994, 300 p: il. Trabajo de grado (ingeniero civil) Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

2 TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual. Special Report 209. Edición de 1985. Washington, D.C.: T.R.B, 1985, p. 8-11.

Tabla 4. Equivalentes camión Ec.

Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Ec)							
Pendiente ascendente %	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones)					
		10	20	30	40	50	60
0	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	1	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	1.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	2	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	3	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	4	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
1	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
1	1	1.64	1.62	1.54	1.51	1.5	1.5
1	1.5	1.75	1.68	1.59	1.55	1.5	1.5
1	2	1.87	1.75	1.59	1.55	1.53	1.53
1	3	1.99	1.75	1.63	1.55	1.53	1.53
1	4	1.99	1.75	1.63	1.59	1.56	1.56
1	5	2.11	1.75	1.68	1.59	1.56	1.56
2	0.5	1.64	1.56	1.59	1.51	1.5	1.5
2	1	1.75	1.68	1.59	1.55	1.53	1.53
2	1.5	1.87	1.68	1.63	1.59	1.53	1.53
2	2	2.11	1.81	1.68	1.63	1.56	1.56
2	3	2.36	1.88	1.73	1.66	1.63	1.62
2	4	2.49	1.95	1.78	1.71	1.67	1.65
2	5	2.63	2.02	1.83	1.75	1.7	1.65
3	0.5	1.64	1.62	1.63	1.59	1.56	1.56
3	1	1.87	1.75	1.68	1.63	1.6	1.56
3	1.5	2.24	1.88	1.78	1.71	1.67	1.62
3	2	2.49	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68
3	3	2.63	2.1	1.89	1.79	1.74	1.71
3	4	2.76	2.17	1.94	1.83	1.78	1.71
3	5	2.9	2.25	1.94	1.83	1.78	1.75
4	0.5	1.75	1.68	1.68	1.63	1.63	1.59
4	1	2.24	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68

Continuación Tabla 4. Equivalentes camión Ec.

Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Ec)							
Pendiente ascendente %	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados (Buses mas camiones)					
		10	20	30	40	50	60
4	1.5	2.9	2.17	2	1.88	1.78	1.75
4	2	3.05	2.33	2.05	1.92	1.86	1.78
4	3	3.2	2.41	2.11	2.02	1.94	1.86
4	4	3.35	2.49	2.17	2.02	1.94	1.9
4	5	3.5	2.49	2.23	2.07	1.99	1.94
5	0.5	1.87	1.81	1.73	1.71	1.67	1.62
5	1	2.76	2.25	2	1.88	1.82	1.75
5	1.5	3.2	2.41	2.11	2.02	1.9	1.9
5	2	3.5	2.49	2.23	2.07	1.99	1.98
5	3	3.66	2.67	2.3	2.12	2.03	1.98
5	4	3.82	2.76	2.36	2.18	2.08	2.02
5	5	3.99	2.76	2.43	2.23	2.13	2.02
6	0.5	2.11	1.95	1.89	1.79	1.74	1.71
6	1	3.35	2.49	2.23	2.07	1.99	1.9
6	1.5	3.66	2.67	2.36	2.18	2.08	1.98
6	2	3.99	2.76	2.43	2.23	2.13	2.02
6	3	4.16	2.94	2.5	2.29	2.17	2.07
6	4	4.33	2.94	2.57	2.35	2.17	2.11
6	5	4.33	3.04	2.64	2.41	2.23	2.16
7	0.5	2.24	2.1	1.94	1.88	1.82	1.78
7	1	3.82	2.76	2.36	2.23	2.13	2.07
7	1.5	4.16	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
7	2	4.51	3.14	2.64	2.47	2.33	2.26
7	3	4.89	3.35	2.64	2.6	2.45	2.31
7	4	5.08	3.46	2.88	2.67	2.51	2.36
7	5	5.08	3.46	2.96	2.67	2.51	2.42
8	0.5	2.49	2.17	2.05	1.92	1.86	1.82
8	1	4.16	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
8	1.5	4.7	3.25	2.79	2.53	2.39	2.31
8	2	5.08	3.46	2.96	2.67	2.51	2.48
8	3	5.49	3.69	3.13	2.81	2.64	2.48
8	4	5.71	3.81	3.22	2.89	2.7	2.54
8	5	5.93	3.94	3.22	2.96	2.77	2.6
9	0.5	2.63	2.33	2.17	2.02	1.94	1.9

Continuación Tabla 4. Equivalentes camión Ec.

Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Ec)							
Pendiente ascendente %	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehiculos pesados (Buses mas camiones)					
		10	20	30	40	50	60
9	1	4.51	3.14	2.64	2.41	2.33	2.21
9	1.5	5.08	3.46	2.88	2.67	2.51	2.36
9	2	5.29	3.58	3.04	2.74	2.57	2.48
9	3	5.71	3.81	3.22	2.89	2.7	2.6
9	4	5.93	3.94	3.32	2.96	2.77	2.67
9	5	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.67
10	0.5	3.05	2.58	2.3	2.18	2.08	2.16
10	1	5.29	3.58	3.04	2.74	2.57	2.54
10	1.5	5.71	3.81	3.13	2.81	2.64	2.67
10	2	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.81
10	3	6.38	4.2	3.51	3.13	2.92	2.88
10	4	6.63	4.33	3.62	3.22	3	2.96
10	5	6.87	4.47	3.73	3.31	3.08	3.04
11	0.5	3.66	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
11	1	5.49	3.69	3.13	2.81	2.64	2.54
11	1.5	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.67
11	2	6.63	4.33	3.51	3.13	2.92	2.81
11	3	6.87	4.47	3.73	3.31	3.08	2.88
11	4	7.13	4.62	3.84	3.4	3.17	2.96
11	5	7.39	4.77	3.96	3.5	3.26	3.04
12	0.5	3.99	3.25	2.79	2.53	2.39	2.31
12	1	6.15	4.06	3.32	3.05	2.85	2.67
12	1.5	6.63	4.33	3.62	3.22	3	2.81
12	2	7.13	4.62	3.73	3.31	3.08	2.96
12	3	7.39	4.77	3.96	3.5	3.17	3.04
12	4	7.67	4.93	3.96	3.6	3.26	3.12
12	5	7.95	5.09	4.08	3.6	3.35	3.21

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Factores de pico horario basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)*.

Volumen horario total Veh/h (C60)	Factor de pico horario	Volumen horario total Veh/h (C60) 2	Factor de pico horario 2
100	0.68	1400	0.89
200	0.7	1600	0.9
300	0.72	1800	0.92
400	0.74	2000	0.93
600	0.78	2200	0.95
800	0.81	2400	0.95
1000	0.84	2600	0.96
1200	0.86	2800	0.97

Fuente: elaboración propia.

6.2 Cálculo del Nivel de Servicio

Como el indicador de efectividad principal para determinar el Nivel de Servicio es la velocidad media de recorrido de la corriente vehicular mixta o velocidad media espacial (que comprende vehículos livianos y pesados), el procedimiento consiste en determinar esa velocidad. Para ello, se empieza por encontrar la velocidad de los automóviles a flujo libre en condiciones casi ideales, y transformarla en el parámetro deseado como se explica a continuación:

- Se debe determinar el tipo de análisis, si se trata de un cálculo del Nivel de Servicio de una vía con superficie de rodadura en buenas condiciones o una vía con superficie de rodadura en mal estado. Si la vía presenta superficie de rodadura en mal estado se realiza un estudio de velocidades en horas de alto volumen de tráfico. El estudio debe realizarse en horas de máxima demanda, mediante el uso del radar o utilizando un vehículo flotante.

Si la vía es un tramo con circulación normal en cuanto a superficie de rodadura o es un proceso de planeación se procede con los siguientes pasos:

- Determinar la velocidad ideal de automóviles a flujo libre V_{i1} , de la Tabla 6 conociendo la inclinación de

la pendiente ascendente en estudio y su longitud. Se obtiene la velocidad media de automóviles, en condiciones ideales.

- Determinar el factor de corrección por el efecto del factor de utilización (f_u) de la Tabla 7, conociendo la relación Volumen-Capacidad. Ambas variables son las correspondientes a sesenta minutos. Ese volumen se designa con el símbolo Q.

$$\text{Factor de utilización (v/c)} = Q / C_{60}$$

- Determinar el factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma (f_{cb}) de la Tabla 8, conociendo el ancho utilizable de la berma y el del carril
- Calcular la velocidad $V_2 = V_1 \times f_u \times f_{cb}$.
- Calcular el valor inicial del factor de corrección por la presencia de vehículos pesados (f_p) aplicando la Tabla 9 para determinar la equivalencia vehicular de los camiones de acuerdo con la pendiente y la longitud de la pendiente. Solo se considera el porcentaje de camiones.

$$f_p = 1 / 1 + \%C(Ec - 1)$$

- Determinar el factor de corrección por tortuosidad del tramo en estudio, de acuerdo con la Tabla 10.

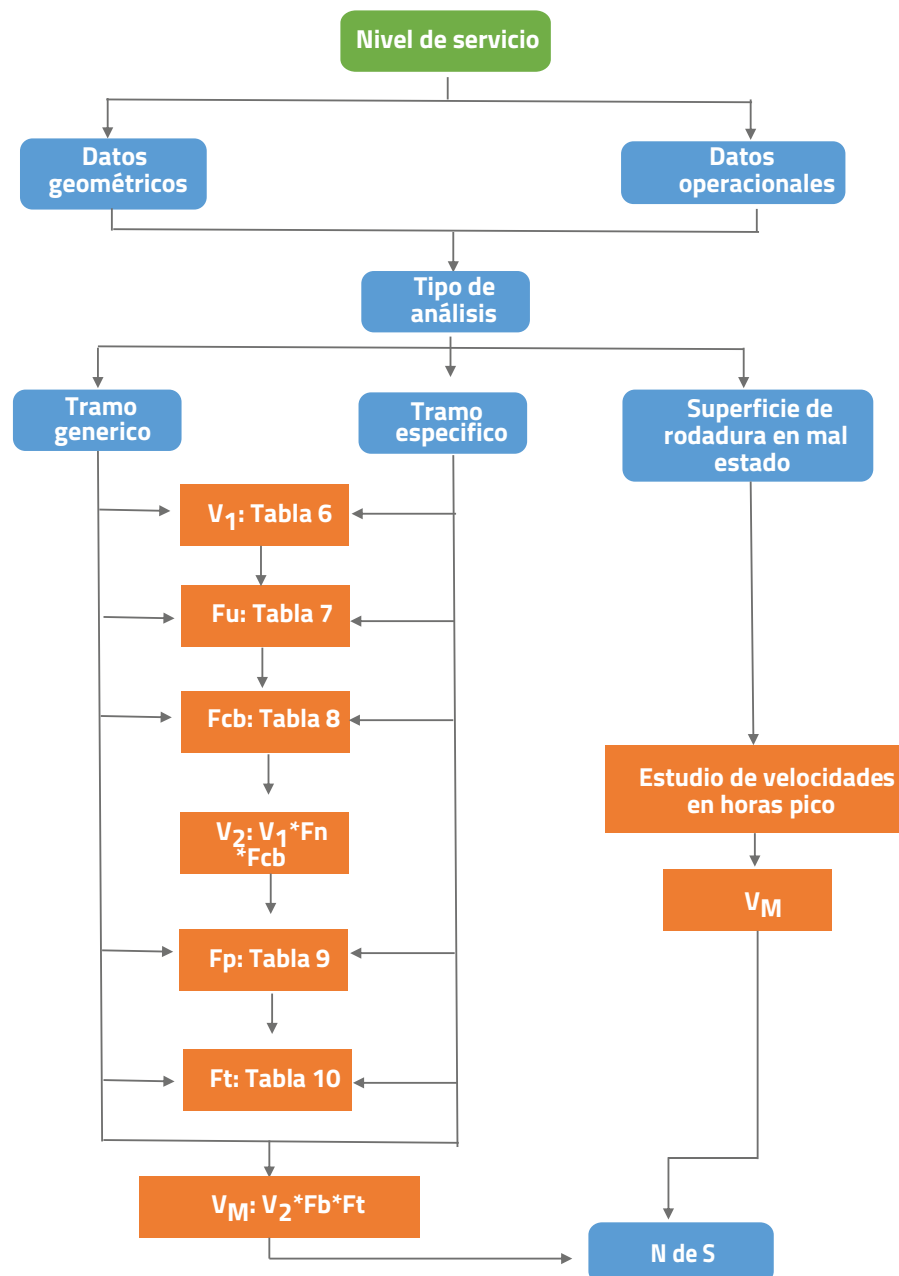
- Calcular la velocidad del tramo en estudio que es igual a:

$$V_M = V_2 \times f_p \times f_t$$

que es 90 kph y con el tipo de terreno se aplica la tabla 11.

- Para determinar el N de S se calcula el porcentaje que se ha perdido con referencia a la velocidad Ideal

En la figura 5.2 se presenta el esquema del proceso de cálculo.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1).

PEND. ASC. %	Longitud de la pendiente (km)											
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	78	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).

Relación Volumen-Capacidad Q/C60	Factor de corrección fu
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1	0.5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Factores de corrección al Nivel de Servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb).

	Ancho de carril (m)				
Ancho de la berma (m)	3.65	3.5	3.3	3	2.7
1.8	1	0.97	0.93	0.85	0.73
1.5	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.2	0.96	0.93	0.89	0.81	0.7
1	0.95	0.92	0.88	0.8	0.69
0.5	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

			Porcentaje de vehículos pesados (Camiones)									
Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano (pendiente longitudinal <3 %)	0.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	50	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	60	1.01	1.16	1.18	1.20	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18
	0.5	70	1.43	1.42	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24
	0.5	80	1.86	1.65	1.52	1.46	1.42	1.38	1.36	1.33	1.31	1.30
	0.5	90	2.16	1.80	1.62	1.54	1.49	1.44	1.40	1.37	1.35	1.33
	1	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	50	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	60	1.09	1.21	1.22	1.23	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20
	1	70	1.67	1.54	1.45	1.41	1.38	1.35	1.32	1.30	1.29	1.27
	1	80	2.26	1.85	1.66	1.57	1.51	1.46	1.42	1.39	1.36	1.34
	1	90	2.57	2.02	1.77	1.65	1.58	1.52	1.47	1.43	1.41	1.38
	1.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	50	1.00	1.00	1.05	1.10	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
	1.5	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	1.5	70	1.79	1.61	1.49	1.44	1.41	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29
	1.5	80	2.50	1.98	1.74	1.63	1.56	1.50	1.46	1.42	1.40	1.37
	1.5	90	2.93	2.20	1.89	1.75	1.66	1.59	1.53	1.48	1.45	1.42

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

			Porcentaje de vehículos pesados									
Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano (pendiente longitudinal <3 %)	2	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2	50	1.00	1.02	1.06	1.11	1.14	1.14	1.15	1.14	1.15	1.14
	2	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	2	70	1.84	1.63	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.31	1.29
	2	80	2.50	1.98	1.74	1.63	1.56	1.50	1.46	1.42	1.40	1.37
	2	90	2.99	2.23	1.91	1.77	1.67	1.60	1.54	1.49	1.46	1.43
	2.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	50	1.00	1.02	1.06	1.11	1.14	1.14	1.15	1.14	1.15	1.14
	2.5	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	2.5	70	1.84	1.63	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.31	1.29
	2.5	80	2.60	2.03	1.78	1.66	1.58	1.52	1.48	1.43	1.41	1.38
	2.5	90	3.04	2.26	1.93	1.78	1.68	1.61	1.55	1.50	1.47	1.44
	3	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	50	1.00	1.02	1.06	1.11	1.14	1.14	1.15	1.14	1.15	1.14
	3	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	3	70	1.84	1.63	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.31	1.29
	3	80	2.65	2.06	1.79	1.67	1.60	1.53	1.48	1.44	1.42	1.39
	3	90	3.09	2.28	1.95	1.79	1.69	1.62	1.56	1.51	1.47	1.44
	3.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	50	1.00	1.02	1.06	1.11	1.14	1.14	1.15	1.14	1.15	1.14
	3.5	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	3.5	70	1.84	1.63	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.32	1.31	1.29
	3.5	80	2.65	2.06	1.79	1.67	1.60	1.53	1.48	1.44	1.42	1.39
	3.5	90	3.09	2.28	1.95	1.79	1.69	1.62	1.56	1.51	1.47	1.44
ONDULADO (3 % <= pendiente longitudinal < 6 %)	0.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	50	1.01	1.12	1.16	1.19	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	1.18
	0.5	60	1.51	1.46	1.39	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25
	0.5	70	2.03	1.74	1.58	1.51	1.46	1.42	1.38	1.35	1.34	1.32
	0.5	80	2.57	2.01	1.77	1.65	1.58	1.52	1.47	1.43	1.41	1.38
	1	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	Porcentaje de vehículos pesados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	1	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	40	1.00	1.00	1.05	1.10	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
	1	50	1.24	1.29	1.27	1.27	1.27	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21
	1	60	2.14	1.79	1.61	1.53	1.48	1.44	1.40	1.37	1.35	1.33
	1	70	2.88	2.17	1.87	1.74	1.65	1.58	1.52	1.48	1.45	1.42
	1	80	3.68	2.59	2.16	1.95	1.83	1.73	1.65	1.59	1.55	1.51
	1.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	40	1.00	1.03	1.08	1.12	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
	1.5	50	1.44	1.43	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25
	1.5	60	2.45	1.95	1.72	1.62	1.55	1.50	1.45	1.41	1.39	1.37
	1.5	70	3.44	2.47	2.07	1.89	1.77	1.68	1.61	1.56	1.52	1.48
	1.5	80	4.31	2.92	2.38	2.13	1.97	1.85	1.76	1.68	1.63	1.59
	2	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2	40	1.00	1.03	1.08	1.12	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
	2	50	1.48	1.45	1.38	1.36	1.34	1.31	1.29	1.27	1.26	1.25
	2	60	2.54	2.00	1.76	1.65	1.57	1.51	1.47	1.43	1.40	1.38
	2	70	3.50	2.50	2.10	1.91	1.79	1.69	1.62	1.57	1.53	1.49
	2	80	4.44	2.98	2.43	2.16	1.99	1.87	1.78	1.70	1.65	1.60
	2.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	40	1.00	1.05	1.09	1.13	1.15	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15
	2.5	50	1.52	1.47	1.39	1.37	1.35	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26
	2.5	60	2.60	2.03	1.78	1.66	1.58	1.52	1.48	1.43	1.41	1.38
	2.5	70	3.67	2.58	2.15	1.95	1.82	1.73	1.65	1.59	1.55	1.51
	2.5	80	4.63	3.08	2.50	2.21	2.04	1.91	1.81	1.73	1.68	1.63
	3	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	40	1.00	1.05	1.09	1.13	1.15	1.16	1.16	1.15	1.15	1.15
	3	50	1.57	1.49	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26
	3	60	2.69	2.07	1.81	1.68	1.60	1.54	1.49	1.45	1.42	1.39
	3	70	3.72	2.61	2.17	1.97	1.84	1.74	1.66	1.60	1.56	1.52
	3	80	4.63	3.08	2.50	2.21	2.04	1.91	1.81	1.73	1.68	1.63

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

			Porcentaje de vehículos pesados									
Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	3.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	40	1.01	1.07	1.10	1.14	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
	3.5	50	1.57	1.49	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.26
	3.5	60	2.74	2.10	1.83	1.70	1.62	1.55	1.50	1.46	1.43	1.40
	3.5	70	3.84	2.68	2.22	2.00	1.86	1.76	1.68	1.62	1.57	1.53
	3.5	80	4.69	3.12	2.52	2.23	2.05	1.92	1.82	1.74	1.68	1.63
Montañoso (6 % <= pendiente longitudinal < 9 %)	0.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	30	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	40	1.24	1.27	1.26	1.26	1.26	1.25	1.24	1.22	1.22	1.21
	0.5	50	2.09	1.76	1.60	1.52	1.47	1.43	1.39	1.36	1.34	1.32
	0.5	60	2.82	2.14	1.86	1.72	1.63	1.57	1.51	1.47	1.44	1.41
	0.5	70	3.60	2.55	2.13	1.93	1.81	1.71	1.64	1.58	1.54	1.50
	0.5	80	4.31	2.92	2.38	2.13	1.97	1.85	1.76	1.68	1.63	1.59
	1	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	30	1.01	1.07	1.10	1.14	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
	1	40	2.07	1.75	1.59	1.52	1.47	1.42	1.39	1.36	1.34	1.32
	1	50	3.46	2.48	2.08	1.89	1.78	1.69	1.62	1.56	1.52	1.49
	1	60	4.65	3.10	2.50	2.22	2.04	1.91	1.81	1.73	1.68	1.63
	1	70	5.69	3.64	2.87	2.50	2.27	2.11	1.98	1.88	1.81	1.75
	1	80	6.64	4.13	3.21	2.76	2.49	2.29	2.14	2.02	1.94	1.87
	1.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	30	1.12	1.13	1.15	1.18	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17
	1.5	40	2.33	1.89	1.68	1.59	1.53	1.47	1.43	1.40	1.37	1.35
	1.5	50	3.74	2.62	2.18	1.97	1.84	1.74	1.66	1.60	1.56	1.52
	1.5	60	4.91	3.23	2.60	2.29	2.10	1.96	1.86	1.77	1.71	1.66
	1.5	70	6.07	3.83	3.01	2.61	2.36	2.18	2.05	1.94	1.86	1.80
	1.5	80	6.90	4.26	3.30	2.83	2.54	2.34	2.18	2.06	1.97	1.90
	2	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2	30	1.16	1.16	1.18	1.20	1.21	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18
	2	40	2.43	1.94	1.72	1.61	1.55	1.49	1.45	1.41	1.39	1.36
	2	50	3.86	2.68	2.22	2.00	1.87	1.76	1.68	1.62	1.57	1.53
	2	60	5.12	3.34	2.67	2.35	2.15	2.00	1.89	1.80	1.74	1.68

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	Porcentaje de vehículos pesados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	2	70	6.16	3.88	3.04	2.63	2.38	2.20	2.06	1.95	1.88	1.81
	2	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	2.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	30	1.19	1.20	1.20	1.22	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19
	2.5	40	2.53	1.99	1.75	1.64	1.57	1.51	1.46	1.43	1.40	1.38
	2.5	50	4.04	2.78	2.29	2.05	1.91	1.80	1.71	1.64	1.60	1.56
	2.5	60	5.25	3.41	2.72	2.38	2.18	2.02	1.91	1.82	1.76	1.70
	2.5	70	6.31	3.96	3.09	2.67	2.41	2.22	2.09	1.97	1.90	1.83
	2.5	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	3	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	30	1.23	1.22	1.22	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19
	3	40	2.53	1.99	1.75	1.64	1.57	1.51	1.46	1.43	1.40	1.38
	3	50	4.04	2.78	2.29	2.05	1.91	1.80	1.71	1.64	1.60	1.56
	3	60	5.33	3.45	2.74	2.40	2.19	2.04	1.92	1.83	1.77	1.71
	3	70	6.31	3.96	3.09	2.67	2.41	2.22	2.09	1.97	1.90	1.83
	3	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	3.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	30	1.23	1.22	1.22	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19
	3.5	40	2.62	2.04	1.79	1.67	1.59	1.53	1.48	1.44	1.41	1.39
	3.5	50	4.09	2.80	2.30	2.07	1.92	1.80	1.72	1.65	1.60	1.56
	3.5	60	5.33	3.45	2.74	2.40	2.19	2.04	1.92	1.83	1.77	1.71
	3.5	70	6.40	4.01	3.12	2.70	2.43	2.24	2.10	1.99	1.91	1.84
	3.5	80	7.25	4.45	3.43	2.93	2.62	2.40	2.24	2.11	2.02	1.94
	4	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4	30	1.23	1.24	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	4	40	2.67	2.07	1.80	1.68	1.60	1.54	1.49	1.45	1.42	1.39
	4	50	4.16	2.84	2.33	2.09	1.93	1.82	1.73	1.66	1.61	1.57
	4	60	5.40	3.49	2.77	2.42	2.21	2.05	1.94	1.84	1.78	1.72
	4	70	6.49	4.05	3.15	2.72	2.45	2.26	2.12	2.00	1.92	1.85
	4	80	7.35	4.50	3.46	2.95	2.64	2.42	2.26	2.13	2.03	1.95
	4.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4.5	30	1.23	1.24	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	Porcentaje de vehículos pesados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	4.5	40	2.67	2.07	1.80	1.68	1.60	1.54	1.49	1.45	1.42	1.39
	4.5	50	4.16	2.84	2.33	2.09	1.93	1.82	1.73	1.66	1.61	1.57
	4.5	60	5.40	3.49	2.77	2.42	2.21	2.05	1.94	1.84	1.78	1.72
	4.5	70	6.49	4.05	3.15	2.72	2.45	2.26	2.12	2.00	1.92	1.85
	4.5	80	7.45	4.55	3.50	2.98	2.67	2.44	2.27	2.14	2.05	1.96
ESCARPADO (pendiente longitudinal $\geq$ 9 %)	0.5	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	20	1.03	1.07	1.10	1.14	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.15
	0.5	30	2.10	1.77	1.60	1.52	1.47	1.43	1.39	1.36	1.34	1.32
	0.5	40	3.81	2.66	2.20	1.99	1.85	1.75	1.67	1.61	1.57	1.53
	0.5	50	5.23	3.40	2.71	2.38	2.17	2.02	1.91	1.82	1.75	1.70
	0.5	60	6.36	3.99	3.11	2.69	2.42	2.23	2.09	1.98	1.90	1.83
	0.5	70	6.86	4.25	3.29	2.82	2.54	2.33	2.18	2.05	1.97	1.89
	1	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	20	1.43	1.32	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.23	1.22	1.22
	1	30	3.52	2.51	2.10	1.91	1.79	1.70	1.63	1.57	1.53	1.49
	1	40	5.36	3.46	2.75	2.41	2.20	2.04	1.93	1.84	1.77	1.71
	1	50	6.89	4.26	3.30	2.83	2.54	2.33	2.18	2.06	1.97	1.90
	1	60	8.01	4.84	3.69	3.13	2.79	2.54	2.36	2.22	2.12	2.03
	1	70	8.50	5.10	3.87	3.27	2.90	2.64	2.45	2.29	2.18	2.09
	1.5	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	20	1.72	1.50	1.41	1.38	1.35	1.33	1.30	1.28	1.27	1.26
	1.5	30	3.98	2.75	2.26	2.04	1.89	1.78	1.70	1.64	1.59	1.55
	1.5	40	5.81	3.70	2.91	2.53	2.30	2.13	2.00	1.90	1.83	1.77
	1.5	50	7.29	4.47	3.44	2.94	2.63	2.41	2.25	2.12	2.02	1.94
	1.5	60	8.47	5.08	3.86	3.26	2.89	2.63	2.44	2.29	2.18	2.08
	1.5	70	9.00	5.36	4.04	3.40	3.01	2.73	2.53	2.37	2.25	2.15
	2	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2	20	1.83	1.58	1.46	1.42	1.39	1.36	1.33	1.31	1.29	1.28
	2	30	4.27	2.90	2.37	2.11	1.96	1.84	1.75	1.68	1.63	1.58
	2	40	6.10	3.85	3.02	2.61	2.36	2.18	2.05	1.94	1.87	1.80
	2	50	7.65	4.65	3.56	3.04	2.71	2.48	2.31	2.17	2.07	1.99
	2	60	8.80	5.25	3.97	3.35	2.97	2.70	2.50	2.34	2.22	2.12
	2	70	9.27	5.50	4.14	3.48	3.07	2.78	2.57	2.40	2.28	2.18

Continuación Tabla 9. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).

Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	Porcentaje de vehículos pesados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	2.5	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	20	1.93	1.63	1.50	1.44	1.41	1.37	1.35	1.32	1.31	1.29
	2.5	30	4.39	2.96	2.41	2.15	1.99	1.86	1.77	1.70	1.64	1.60
	2.5	40	6.28	3.94	3.08	2.66	2.41	2.22	2.08	1.97	1.89	1.82
	2.5	50	7.72	4.69	3.59	3.06	2.73	2.49	2.32	2.18	2.08	2.00
	2.5	60	8.87	5.29	4.00	3.37	2.98	2.71	2.51	2.35	2.23	2.13
	2.5	70	9.35	5.54	4.17	3.50	3.09	2.80	2.58	2.42	2.29	2.19
	3	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	20	2.07	1.70	1.55	1.48	1.44	1.40	1.37	1.34	1.32	1.31
	3	30	4.50	3.02	2.45	2.18	2.01	1.88	1.79	1.71	1.66	1.61
	3	40	6.34	3.97	3.10	2.68	2.42	2.23	2.09	1.98	1.90	1.83
	3	50	7.87	4.77	3.65	3.10	2.76	2.52	2.34	2.20	2.10	2.01
	3	60	8.96	5.34	4.03	3.39	3.00	2.73	2.52	2.36	2.24	2.14
	3	70	9.44	5.58	4.20	3.52	3.11	2.81	2.60	2.43	2.31	2.20
	3.5	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	20	2.07	1.70	1.55	1.48	1.44	1.40	1.37	1.34	1.32	1.31
	3.5	30	4.55	3.04	2.47	2.19	2.02	1.89	1.80	1.72	1.67	1.62
	3.5	40	6.54	4.08	3.17	2.73	2.46	2.27	2.12	2.01	1.93	1.85
	3.5	50	7.94	4.81	3.67	3.12	2.78	2.53	2.35	2.21	2.11	2.02
	3.5	60	9.06	5.39	4.07	3.42	3.03	2.74	2.54	2.37	2.26	2.16
	3.5	70	9.54	5.64	4.23	3.55	3.13	2.83	2.62	2.44	2.32	2.21
	4	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4	20	2.13	1.74	1.57	1.50	1.45	1.41	1.38	1.35	1.33	1.31
	4	30	4.63	3.09	2.50	2.21	2.04	1.91	1.81	1.73	1.68	1.63
	4	40	6.59	4.11	3.19	2.75	2.48	2.28	2.13	2.02	1.93	1.86
	4	50	8.02	4.85	3.70	3.14	2.79	2.55	2.37	2.22	2.12	2.03
	4	60	9.22	5.47	4.12	3.46	3.06	2.77	2.56	2.40	2.28	2.17
	4	70	9.63	5.68	4.27	3.58	3.15	2.85	2.63	2.46	2.33	2.22
	4.5	10	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4.5	20	2.17	1.76	1.58	1.51	1.46	1.42	1.39	1.36	1.34	1.32
	4.5	30	4.69	3.12	2.52	2.23	2.05	1.92	1.82	1.74	1.68	1.63
	4.5	40	6.59	4.11	3.19	2.75	2.48	2.28	2.13	2.02	1.93	1.86
	4.5	50	8.02	4.85	3.70	3.14	2.79	2.55	2.37	2.22	2.12	2.03
	4.5	60	9.22	5.47	4.12	3.46	3.06	2.77	2.56	2.40	2.28	2.17

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (FT).

Pendiente (%)	Tortuosidad (°/km)	ft
0	≤40	1.00
<2.5	<110	0.99
<4	<200	0.99
<6	<400	0.98
<8	<800	0.97

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación entre $V_M / V_i * 100$.

Tipo de terreno	Nivel de Servicio					
	A	B	C	D	E	F
Plano	>92 %	92 %-80 %	80 %-69 %	69 %-58 %	58 %-47 %	<47 %
Ondulado	>76 %	76 %-66 %	66 %-57 %	57 %-48 %	48 %-38 %	<38 %
Montañoso	>58 %	58 %-50 %	50 %-43 %	43 %-37 %	37 %-29 %	<29 %
Escarpado	>40 %	40 %-34 %	34 %-30 %	30 %-26 %	26 %-20 %	<20 %

Nota: La velocidad ideal V_i es 90 km/h

Ejemplo de aplicación 1**Solución**

RUTA : 45A07

TRAMO : San Gil - Floridablanca

SECTOR : San Gil - Floridablanca

ABSCISA : km44+000 - km45+000

Características de la vía:

Ancho de carril : 3.30 m

Ancho de berma : 1.00 m

Pendiente promedio y tipo de terreno : 7 %, montañoso

Longitud del sector : 1.00 km

Grado de curvatura : 300 °/km

Características del tránsito:

Distribución por sentido : 52/48

Porcentajes de zonas de no rebase : 80 %

Composición vehicular:

% Automóviles : 50

% Buses : 10

% Camiones : 40

Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 650 Veh/h

Cálculo de CapacidadCapacidad en condiciones ideales (C_i) en ambos sentidos = 3200 Veh/h1. $F_{pe} = 0.93$ (Tabla 1, Pendiente 7 %, Longitud 1 km)2. $F_d = 0.969$ (Tabla 2, zonas de no rebase 80 %, distribución por sentido 52/48)3. $F_{cb} = 0.97$ (Tabla 3, ancho de carril 3.30 m, ancho de berma 1.00 m)4. $E_c = 2.13$ (Tabla 4, pendiente 7 %, longitud del sector 1.00 km, porcentaje de vehículos pesados (C+B) 50 %) $F_p = 0.63$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c (E_c - 1)}$$

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

$$C_{60} = 3200 * 0.93 * 0.969 * 0.97 * 0.63$$

$$C_{60} = 1788 \text{ Veh/h}$$

Capacidad de la hora

6. $FHP = 0.919$ (Tabla 5, C_{60} : 1764 Veh/h)

$$C_5 = 1643 \text{ Veh/h } (C_5 = C_{60} * FHP)$$

Capacidad de los cinco minutos

Nivel de Servicio1. $V_1 = 69 \text{ Km/h}$ (Tabla 6, velocidad media automóviles pendiente 7 %, longitud 1 km)2. $F_u = 0.935$ (Tabla 7, Q : 650 Veh/h, C_{60} : 1788 Veh/h)3. $F_{cb} = 0.88$ (Tabla 8, ancho de carril 3.30 m, ancho de berma 1.00 m)

$$4. V_c = 56.75 \text{ km/h (Velocidad de automóviles } V_2 : V_i * F_u * F_{cb})$$

$$5. E_c = 2.11 \text{ (Tabla 9, pendiente 7 %, longitud del sector 1.00 km, } V_1 : 56.47 \text{ km/h, porcentaje de vehículos pesados (C= 40 %)}$$

$$F_p = 0.692$$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c(E_c - 1)}$$

$$6. F_t = 0.975 \text{ (Tabla 10, pendiente 7 %, grado de curvatura 300 °/km)}$$

$$7. V_M = 38.29 \text{ km/h (} V_M : V_2 * F_p * F_t)$$

$$8. \text{ Nivel de Servicio: D (Tabla 11, tipo de terreno Montañoso, } V_M/V_i : 42, 54 \%)$$

$$\begin{array}{ccc} V_i & & \\ 90 & \longrightarrow & 100\% \\ 38.29 & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$\text{Porcentajes de zonas de no rebase} : 82 \%$$

Composición Vehicular:

$$\% \text{ Automóviles} : 50$$

$$\% \text{ Buses} : 10$$

$$\% \text{ Camiones} : 40$$

$$\text{Volumen horario total ambos sentidos (Q)} : 763 \text{ Veh/h}$$

Solución

Cálculo de Capacidad

$$\text{Capacidad en condiciones ideales (} C_i \text{) en ambos sentidos} = 3200 \text{ Veh/h}$$

Ejemplo de aplicación 2

RUTA : 1901

TRAMO : Cali - Cruce Ruta 40 (Loboguerrero)

SECTOR : km20-Dagua

ABSCISA : km 38+000 – km 35+100

Características de la vía:

Ancho de carril : 3.65 m

Ancho de berma : 1.30 m

Pendiente promedio y tipo de terreno : 7.5 %, montañoso

Longitud del sector : 1.30 km

Grado de curvatura : 344 °/km

Características del tránsito:

Distribución por sentido : 55/45

$$1. F_{pe} = 0.91 \text{ (Tabla 1, pendiente 7.5 %, longitud 1.3 km)}$$

$$2. F_d = 0.922 \text{ (Tabla 2, Zonas de no rebase 82 %, distribución por sentido 55/45)}$$

$$3. F_{cb} = 0.99 \text{ (Tabla 3, ancho de carril 3.65 m, ancho de berma 1.30 m)}$$

$$4. E_c = 2.258 \text{ (Tabla 4, pendiente 7.5 %, longitud del sector 1.30 km, porcentaje de vehículos pesados (C+B) 50 %)}$$

$$F_p = 0.614$$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c(E_c - 1)}$$

$$5. C_{60} = C_i * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

$$C_{60} = 3200 * 0.907 * 0.924 * 0.99 * 0.614$$

$$C_{60} = 1632 \text{ Veh/h}$$

$$6. FHP = 0.903 \text{ (Tabla 5, } C_{60} : 1628 \text{ Veh/h)}$$

$$C_5 = 1474 \text{ Veh/h (} C_5 = C_{60} * FHP)$$

Nivel de Servicio

1. $V_1 = 63.9$ km/h (Tabla 6, velocidad media automóviles pendiente 7.5 %, Longitud 1.3 km)
2. $F_u = 0.886 V/C_{60} = 0.45$ (Tabla 7, Q : 1628 Veh/h, C_{60} : 1760 Veh/h)
3. $F_{cb} = 0.967$ (Tabla 8, ancho de carril 3.65 m, ancho de berma 1.30 m)
4. $V_2 = 54.75$ km/h (velocidad de automóviles $V_2 : V_1 * F_u * F_{cb}$)
5. $E_c = 2.092$ (Tabla 9, pendiente 7.5 %, longitud del sector 1.30 km
 $V_1 : 54.75$ km/h, Porcentaje de vehículos pesados 40 % $E_c = 2.13$)

$$F_p = 0.696$$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c (E_c - 1)}$$

6. $F_t = 0.973$ (Tabla 10, pendiente 7.5 %, grado de curvatura 344 °/km)
7. $V_M = 37.06$ Km/h ($V_M : V_1 * F_p * F_t$)
8. Nivel de Servicio: D (Tabla 11, tipo de terreno montañoso, V_M/V_i : 41.17 %)

V_i	
90	→ 100%
37.06	→ x

Ejemplo de aplicación 3

RUTA : 9007

TRAMO : Barranquilla – Santa Marta y acceso al Puente

SECTOR : Barranquilla, Santa Marta (Bolívar)

ABSCISA : km 6+500 – 8+600

Características de la vía:

- | | |
|--------------------------------------|----------------|
| Ancho de carril | : 3.65 m |
| Ancho de berma | : 2.5 m |
| Pendiente promedio y tipo de terreno | : 0.3 %, Plano |
| Longitud del sector | : 0.8 km |
| Grado de curvatura | : 0 °/km |

Características del tránsito:

- | | |
|-----------------------------------|---------|
| Distribución por sentido | : 50/50 |
| Porcentajes de zonas de no rebase | : 0 % |

Composición vehicular:

- | | |
|---------------|------|
| % Automóviles | : 55 |
| % Camiones | : 45 |

- | | |
|--|-------------|
| Volumen horario total ambos sentidos (Q) | : 957 Veh/h |
|--|-------------|

Solución**Cálculo de Capacidad**

Capacidad en condiciones ideales (C_i) en ambos sentidos = 3200 Veh/h

1. $F_{pe} = 0.997$ (Tabla 1, pendiente 0.3 %, longitud 0.8 km)
2. $F_d = 1.00$ (Tabla 2, zonas de no rebase 0 %, distribución por sentido 50/50)
3. $F_{cb} = 1.00$ (Tabla 3, ancho de carril 3.65 m, ancho de berma 2.50 m)
4. $E_c = 1.48$ (Tabla 4, pendiente 0.3 %, longitud del sector 0.80 km, porcentaje de vehículos pesados (C+B) 45 %)

$$F_p = 0.822$$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c (E_c - 1)}$$

$$5. \quad C_{60} = C_i * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

$$C_{60} = 3200 * 0.997 * 1.00 * 1.00 * 0.822$$

$$C_{60} = 2623 \text{ Veh/h}$$

$$6. \quad \text{FHP} = 0.961 \text{ (Tabla 5, } C_{60} : 2598 \text{ Veh/h)}$$

$$C_5 = 2521 \text{ Veh/h (} C_5 = C_{60} * \text{FHP)}$$

Nivel de Servicio

$$1. \quad V_1 = 89.0 \text{ km/h (Tabla 6, velocidad media automóviles pendiente 0.3 %, longitud 0.8 km)}$$

$$2. \quad F_u = 0.94 \text{ (Tabla 7, } Q : 957 \text{ Veh/h, } C_{60} : 2598 \text{ Veh/h)}$$

$$3. \quad F_{cb} = 1.00 \text{ (Tabla 8, ancho de carril 3.65 m, ancho de berma 2.50m)}$$

$$4. \quad V_2 = 83.17 \text{ km/h (velocidad de automóviles } V_2 : V_1 * F_u * F_{cb})$$

$$5. \quad E_c = 1.524 \text{ (Tabla 9, pendiente 0.3 %, longitud del sector 0.8 km,}$$

$$V_1 : 83.17 \text{ km/h, porcentaje de vehículos pesados (C+B) 45 %)}$$

$$F_p = 0.809$$

$$F_p = \frac{1}{1 + p_c (E_c - 1)}$$

$$6. \quad F_t = 0.999 \text{ (Tabla 10, pendiente 0.3 %, grado de curvatura NA)}$$

$$7. \quad V_2 = 67.23 \text{ Km/h (} V_2 : V_1 * F_p * F_t)$$

$$8. \quad \text{Nivel de Servicio: C (Tabla 11, tipo de terreno plano, } V_M/V_i : 74.7 \%)$$

Bibliografía

- AKÇELİK, R. (1991). Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time-dependent form and an alternative travel time function. *Australian Road Research* 21 (3), pp. 49–59.
- AKÇELİK, R. (1996). Relating flow, density, speed and travel time models for uninterrupted and interrupted traffic. *Traffic Engineering and Control* 37(9), pp. 511–516.
- AKÇELİK, R., ROPER, R. and BESLEY, M. (1999). Fundamental Relationships for Freeway Traffic Flows. Research Report ARR 341. ARRB Transport Research Ltd, Vermont South, Australia.
- REILLY, W., HARWOOD, D., SCHOEN, J. and HOLLING, M. (1990). Capacity and LOS Procedures for Rural and Urban Multilane Highways. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 3-33. JHK & Associates, Tucson, Arizona.
- SCHOEN, J., MAY, A., REILLY, W. and URBANIK, T. (1995). Speed-Flow Relationships for Basic Freeway Segments. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 3-45. JHK & Associates, Tucson, Arizona.
- SINCLAIR KNIGHT MERZ (1998). Review and Update of the Speed/Flow Curves and Road Link Types in the Melbourne Strategic Highway Model. Final report to Department of Infrastructure. Melbourne, Victoria, Australia.
- TRB (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. ("HCM 2000").
- TRB (2010). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. ("HCM 2010").
- Efecto de la Pendiente en la Capacidad de Vías de Dos Carriles.
- Priyanka Alluri, Ph.D., Dibakar Saha, M.S., Albert Gan, Ph.D. ,Prioritization of Highway Safety Manual (HSM) Data Variables Using Random Forest Algorithm. Transportation Research Board 94th Annual Meeting, 2015, 19p
- Yang y Zhang, Development of Indian Highway capacity manual (INDO-HCM), Central Road Research Institute, CSIR-Central Road Research Institute (CRRI), New Delhi, India-2013.
- Florence Rosey, Jean-Michel Auberlet., Trajectory variability: Road geometry difficulty indicator, *Safety Science*, Volumen 50, Issue 9, 2012
- Rui Fu 1, Yingshi Guo, Wei Yuan, Hongyun Feng, Yong Ma, The correlation between gradients of descending roads and accident rates, *Safety Science*, Volumen 49, Issue 9-2011
- Matthew G. Karlaftis, Ioannis Golias, Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates, *Accident Analysis and Prevention* 34, 2002
- Ashutosh Arun, Senathipathi Velmurugan, Madhu Errampalli, Methodological Framework towards Roadway Capacity Estimation for Indian Multi-Lane Highways, *ScienceDirect* – 2013

Karen Dixon, Chris Monsere, Fei Xie, Kristie Gladhill, Calibrating The Future Highway Safety Manual Predictive Methods For Oregon State Highways, Oregon Department of Transportation Research and Oregon Transportation Research and Education Consortium (OTREC)-2012

Ping Yi, Yucheng ZHANG, John LU, Huapu LU, SAFETY-BASED CAPACITY ANALYSIS FOR CHINESE HIGHWAYS, Preliminary study, IATSS Research-2004

Determinación del Nivel de Servicio en Vías de Dos Carriles.

Manual de capacidad y niveles de servicio de carreteras de dos carriles en Colombia. Éste Manual fue publicado por el Instituto Nacional de Vías en el año 1996

Volumen 1 del Highway Capacity Manual 2010 (HCM-2010) en lo pertinente a flujo continuo.

Capítulo 14 del Volumen 2 del Highway Capacity Manual 2010 (HCM-2010) en el que se describe la metodología para la evaluación de la capacidad y los niveles de servicio de carreteras multicarril en los Estados Unidos.

Capítulo 15 del Volumen 2 del Highway Capacity Manual 2010 (HCM-2010) en el que se describe la metodología para la evaluación de la capacidad y los niveles de servicio de carreteras de dos carriles en los Estados Unidos.

Desired Time Gap and Time Headway in Steady-State Car-Following on Two-Lane Roads Partha Pratim, Satish Chandra.USA

Evaluating new methodologies for estimating performance on two-lane highways Ahmed Al-Kaisy and Casey Durbin USA

Simulation of pavement response to tire pressure and shape of contact area Qingfan Liu and Ahmed Shalaby

Impact of lane width of mountain highway on vehicle lateral position and speed P. Wang S. Fang J. Wang China

Operational Performance Measures for Two-lane Roads: An Assessment of Methodological Alternatives Indrajit Ghosh, Satish Chandra, Amardeep Boora India

Effect of Road Roughness on Capacity of Two-Lane Roads. Chandra, Satish India

The effects of pavement surface characteristics on tire/pavement noise By Liao, Gongyun; Sakhaeifar, Maryam S.; Heitzman, Michael; West, Randy; Waller, Brian; Wang, Shengyue; Ding, Yangmin USA

Evaluation of performance measures for rural two-lane roads in Egypt Ibrahim Hassan Sashim, talaat Ali Abedel-Wahed Egipto

Curvas Flujo – Densidad – Velocidad.

AKÇELIK, R. (1991). Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time-dependent form and an alternative travel time function. Australian Road Research 21 (3), pp. 49–59.

AKÇELIK, R. (1996). Relating flow, density, speed and travel time models for uninterrupted and interrupted traffic. Traffic Engineering and Control 37(9), pp. 511-516.

AKÇELIK, R., ROPER, R. and BESLEY, M. (1999). Fundamental Relationships for Freeway Traffic Flows. Research Report ARR 341. ARRB Transport Research Ltd, Vermont South, Australia.

RADELAT Guido. Principios de Ingeniería de Tránsito. ITE, 2003.

REILLY, W., HARWOOD, D., SCHOEN, J. and HOLLING, M. (1990). Capacity and LOS Procedures for Rural and Urban Multilane Highways. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 3-33. JHK & Associates, Tucson, Arizona.

RIVAS Nelson, ARBOLEDA Carlos. Conferencias de Ingeniería de Tránsito. Universidad del Cauca, 2014.

SCHOEN, J., MAY, A., REILLY, W. and URBANIK, T. (1995). Speed-Flow Relationships for Basic Freeway Segments.

Final Report, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 3-45. JHK & Associates, Tucson, Arizona.

SINCLAIR KNIGHT MERZ (1998). Review and Update of the Speed/Flow Curves and Road Link Types in the Melbourne Strategic Highway Model. Final report to Department of Infrastructure. Melbourne, Victoria, Australia.

TRB (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. ("HCM 2000").

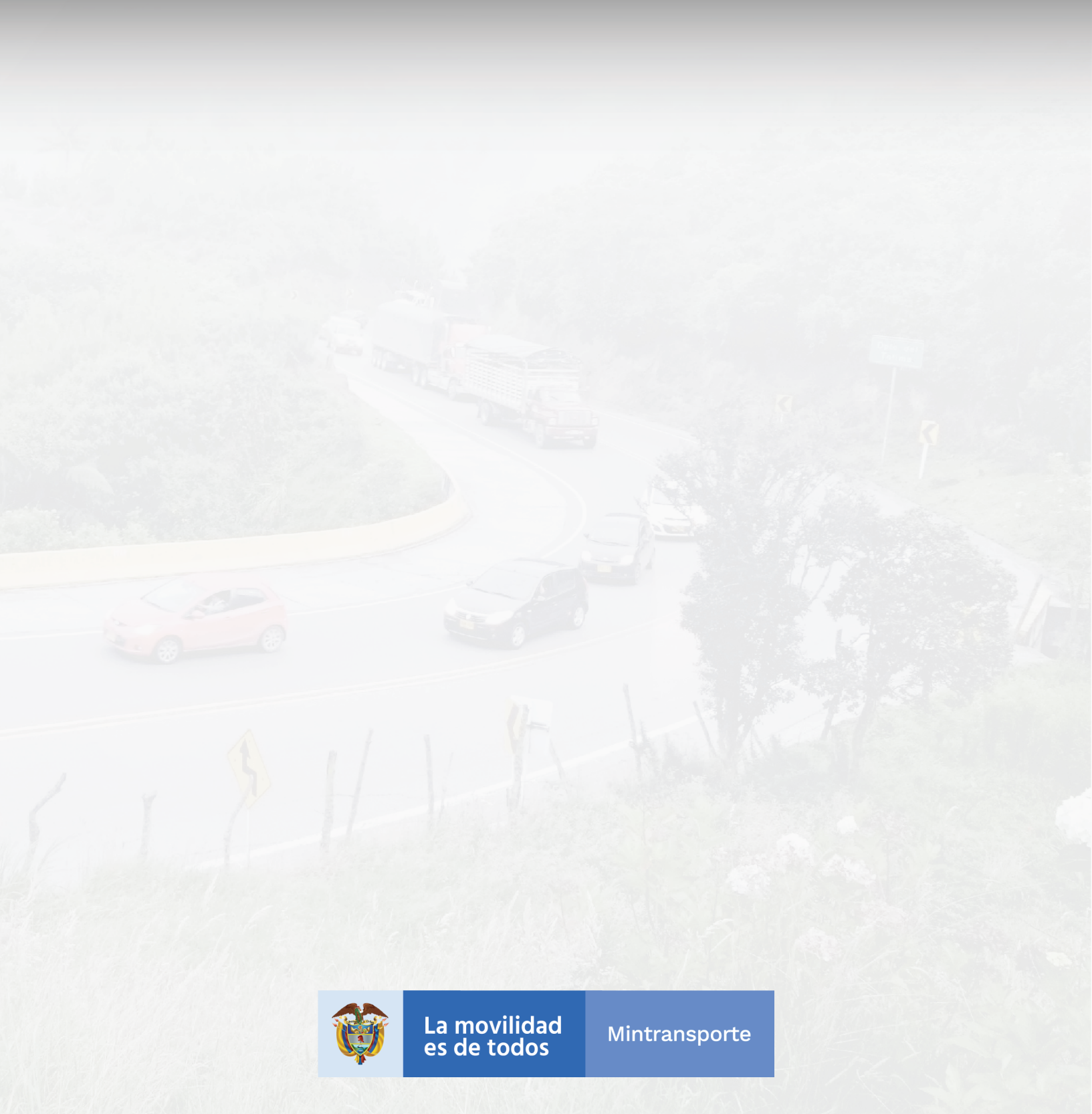
TRB (2010). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. ("HCM 2010").



Este libro fue diagramado utilizando fuentes Titillium a 10,5 pts, en el cuerpo del texto y Titillium en la carátula.

Se empleó papel bond blanco de 90 grs. en páginas interiores y propalcote de 300 grs. para la carátula.





La movilidad
es de todos

Mintransporte

