Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Diseño de un carril bus-camión en una red metropolitana

TREBALL FINAL DE GRAU

Treball realitzat per:
Marcos Iñigo Parra Albares

Dirigit per:
José Magín Campos Cacheda

Grau en:
Enginyeria de la Construcció

Barcelona, 22/05/2013

Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori

Universitat Politècnica de Catalunya

E. T. S. d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona

Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori

Trabajo Final de Grado

TÍTULO:	Diseño de un carril bus-camión en una red metropolitana
AUTOR:	Marcos Iñigo Parra Albares
TUTOR:	José Magín Campos Cacheda

Barcelona, 2013

RESUMEN

Es un problema cada día más grave, tanto en el ámbito urbano como en el interurbano, la congestión que sufren las infraestructuras de transporte, sobre todo en las horas punta en los accesos a las principales ciudades. Por ello, todas las soluciones pasan por fomentar el uso del transporte público y/o penalizar al vehículo privado motorizado. El objetivo de la presente investigación es, en primer lugar, el estudio de los posibles efectos de la implantación de un carril especializado sobre una vía ya ejecutada y, en segundo lugar, buscar una carretera en el área metropolitana de Barcelona que cumpla con los parámetros descritos en el estudio donde la implantación del carril mejore el nivel de servicio.

Con este estudio se busca mejorar el nivel de servicio de la vía tanto para el transporte público como para el privado, dividiéndola en vehículos ligeros y pesados fomentando la especialización de los carriles de la vía dependiendo de las características físico-mecánicas de los vehículos para una mejor convivencia entre este tipo de vehículos.

Para ello, se ha realizado una breve recopilación de información sobre las diferentes tipologías de carriles existentes y ejecutados hasta el momento y sus posibles variaciones para posteriormente hacer una descripción del tipo de carril sobre el que se basará el desarrollo del presente estudio.

A continuación, se ha procedido a la creación de un modelo basado en el *"Highway Capacity Manual 2000"* para comparar los niveles de servicio de una carretera tipo antes y después de la implantación del carril para las diferentes situaciones posibles como diferentes características del entorno, diferentes características geométricas, variaciones en la composición del tráfico, etc.

Con los resultados mostrados por este modelo se han definido unos ratios en los cuales la implantación de dicho carril mejoraría los niveles de servicio de la vía con una inversión económica mucho menor en comparación con la reestructuración de las infraestructuras ya existentes.

Finalmente, para llevar este estudio a un nivel más práctico, se ha buscado en el Área Metropolitana de Barcelona una vía de acceso a la ciudad con unas características

similares a las del modelo donde se muestra una mejora del nivel de servicio con la implantación del carril estudiado y ver los efectos de la implantación en la realidad.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE 1

ÍNDICE DE TABLAS 4

ÍNDICE DE FIGURAS 7

NOTACIÓN 8

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 9
   1.1 Justificación 9
   1.2 Objetivos 9
   1.3 Fases de investigación 10
   1.4 Estructura y resumen de contenidos 10

2. ESTADO DEL ARTE 12
   2.1 Tipo de infraestructuras 12
   2.2 Tipo de guiado 14
   2.3 Tipo de motorización 16
   2.4 Tipo de usuario 17
   2.5 Tipo de vigilancia 17
   2.6 Tipo de separadores 18
   2.7 Tipo de señalización 19
   2.8 Otras tipologías 20

3. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO 21
   3.1 Características de la carretera tipo 21
   3.2 Metodología del "*Highway Capacity Manual 2000*" 21
   3.3 Obtención de la velocidad de libre circulación 22
   3.4 Obtención de la intensidad punta equivalente 26
   3.5 Obtención del nivel de servicio 29
   3.6 Niveles de servicio 31

4. MODELO 33
4.1 Análisis de datos 33
4.2 Carreteras con limitación de velocidad de 80 km/h 34
4.2.1 Carreteras con 2 carriles 34
4.2.2 Carreteras con 3 carriles 36
4.2.3 Carreteras con 4 carriles 38
4.2.4 Carreteras con 5 carriles 40
4.3 Carreteras con limitación de velocidad de 100 km/h 42
4.3.1 Carreteras con 2 carriles 42
4.3.2 Carreteras con 3 carriles 44
4.3.3 Carreteras con 4 carriles 46
4.3.4 Carreteras con 5 carriles 48
4.4 Resumen de datos 50
4.5 Zonas de operatividad 52
4.5.1 Vías a 80 km/h 52
4.5.2 Vías a 100 km/h 54

5. APLICACIÓN PRÁCTICA 56
5.1 Procedimiento 56
5.2 Características de la carretera 56
5.2.1 B-134-1 57
5.2.2 B-219-2 57
5.2.3 B-225-1 57
5.2.4 E-76-0 57
5.2.5 E-372-0 58
5.3 Implantación del sistema con la intensidad horaria punta 58
5.3.1 B-134-1 58
5.3.2 B-219-2 59
5.3.3 B-225-1 60
5.3.4 E-76-0 60
5.3.5 E-372-0 61
5.4 Implantación del sistema con la intensidad horaria a lo largo del día 62
5.5 Resumen aplicación práctica 63

6. OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL CARRIL 65
6.1 Señalización 65
6.2 Situación del carril 65
6.3 Características en los enlaces 66

7. CONCLUSIONES 67
7.1 Aportaciones 67
7.2 Conclusiones 67

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70
8.1 Bibliográficas 70
8.2 Informáticas 71

ANEJOS

Anejo 1. MAPA DE VELOCIDADES

Anejo 2. ANEJO FOTOGRÁFICO

Anejo 3. AFORAMIENTOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Esquema de trabajo

Tabla 3.2 Anchura de carril

Tabla 3.3 Distancia lateral total a obstáculos

Tabla 3.4 Densidad de enlaces

Tabla 3.5 Intensidad horaria a 80 km/h

Tabla 3.6 Intensidad horaria a 100 km/h

Tabla 3.7 Equivalencia de vehículo pesado

Tabla 3.8 Curvas de velocidad

Tabla 3.9 Nivel de servicio

Tabla 4.1 Nivel de servicio C con 2 carriles a 80 km/h

Tabla 4.2 Nivel de servicio D con 2 carriles a 80 km/h

Tabla 4.3 Nivel de servicio E con 2 carriles a 80 km/h

Tabla 4.4 Nivel de servicio C con 3 carriles a 80 km/h

Tabla 4.5 Nivel de servicio D con 3 carriles a 80 km/h

Tabla 4.6 Nivel de servicio E con 3 carriles a 80 km/h

Tabla 4.7 Nivel de servicio C con 4 carriles a 80 km/h

Tabla 4.8 Nivel de servicio D con 4 carriles a 80 km/h

Tabla 4.9 Nivel de servicio E con 4 carriles a 80 km/h

Tabla 4.10 Nivel de servicio C con 5 carriles a 80 km/h

Tabla 4.11 Nivel de servicio D con 5 carriles a 80 km/h

Tabla 4.12 Nivel de servicio E con 5 carriles a 80 km/h

Tabla 4.13 Nivel de servicio C con 2 carriles a 100 km/h

Tabla 4.14 Nivel de servicio D con 2 carriles a 100 km/h

Tabla 4.15 Nivel de servicio E con 2 carriles a 100 km/h

Tabla 4.16 Nivel de servicio C con 3 carriles a 100 km/h

Tabla 4.17 Nivel de servicio D con 3 carriles a 100 km/h

Tabla 4.18 Nivel de servicio E con 3 carriles a 100 km/h

Tabla 4.19 Nivel de servicio C con 4 carriles a 100 km/h

Tabla 4.20 Nivel de servicio D con 4 carriles a 100 km/h

Tabla 4.21 Nivel de servicio E con 4 carriles a 100 km/h

Tabla 4.22 Nivel de servicio C con 5 carriles a 100 km/h

Tabla 4.23 Nivel de servicio D con 5 carriles a 100 km/h

Tabla 4.24 Nivel de servicio E con 5 carriles a 100 km/h

Tabla 4.25 Zona de operatividad a 80 km/h

Tabla 4.26 Zona de operatividad a 100 km/h

Tabla 4.27 Intensidad horaria a 80 km/h

Tabla 4.28 Intensidad horaria a 100 km/h

Tabla 4.29 Zona de operatividad a 80 km/h con 2 carriles

Tabla 4.30 Zona de operatividad a 80 km/h con 3 carriles

Tabla 4.31 Zona de operatividad a 80 km/h con 4 carriles

Tabla 4.32 Zona de operatividad a 80 km/h con 5 carriles

Tabla 4.33 Zona de operatividad a 100 km/h con 2 carriles

Tabla 4.34 Zona de operatividad a 100 km/h con 3 carriles

Tabla 4.35 Zona de operatividad a 100 km/h con 4 carriles

Tabla 4.36 Zona de operatividad a 100 km/h con 5 carriles

Tabla 5.1 B-134-1 sentido Barcelona

Tabla 5.2 B-134-1 sentido Lleida

Tabla 5.3 B-219-2 sentido Lleida

Tabla 5.4 B-219-2 sentido Barcelona

Tabla 5.5 B-225-1 sentido Mongat

Tabla 5.6 B-225-1 sentido Trinitat

Tabla 5.7 E-76-0 sentido Lleida

Tabla 5.8 E-76-0 sentido Barcelona

Tabla 5.9 E-372-0 sentido Barcelona

Tabla 5.10 E-372-0 sentido Lleida

Tabla 5.11 Intensidad horaria en el día B-134-1 sentido Barcelona

Tabla 7.1 Zona de operatividad a 80 km/h

Tabla 7.2 Zona de operatividad a 100 km/h

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Velocidad de libre circulación

Figura 3.2 Distancia lateral total a obstáculos

Figura 3.3 Intensidad punta equivalente

Figura 3.4 Factor por vehículos pesados

Figura 3.5 Densidad

Figura 3.6 Velocidad promedio de vehículo equivalente para intensidad punta equivalente mayor a 1400 veh/h/carril y velocidad de libre circulación entre 90 y 100 km/h

Figura 3.7 Velocidad promedio de vehículo equivalente para intensidad punta equivalente mayor a 1400 veh/h/carril y velocidad de libre circulación entre 80 y 90 km/h

Figura 3.8 Velocidad promedio de vehículo equivalente para intensidad punta equivalente mayor a 1400 veh/h/carril y velocidad de libre circulación entre 70 y 80 km/h

Figura 3.9 Velocidad promedio de vehículo equivalente para intensidad punta equivalente mayor a 1400 veh/h/carril y velocidad de libre circulación de 70 km/h

Figura 3.10 Velocidad promedio de vehículo equivalente para intensidad punta equivalente menor o igual a 1400 veh/h/carril

NOTACIÓN

FFS: Velocidad de libre circulación

BFFS: Velocidad de proyecto

flw: factor por anchura de carril

flc: factor por distancia lateral a obstáculos

fm: factor por tipo de mediana

fa: factor por densidad de enlaces en la vía

IMD: intensidad media diaria

Vp: intensidad punta equivalente

V: intensidad horaria

PHF: factor por hora punta

N: número de carriles

fhv: factor por vehículos pesados

fp: factor por experiencia de los conductores

Pt: proporción de vehículos pesados

Et: equivalencia de vehículos pesados

D: densidad

S: velocidad promedio de vehículo equivalente

LOS: nivel de servicio

IMDp: intensidad media diaria de vehículos pesados

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. JUSTIFICACIÓN

El continuo aumento de las principales ciudades como polo de atracción está provocando un crecimiento del tráfico en los accesos a estas, lo cual conlleva, a su vez, una saturación de las actuales infraestructuras de transporte hasta llegar al colapso de estas en momentos puntuales (principalmente en las horas punta de la mañana en las entradas) y en gran parte provocado por el vehículo privado. Con este estudio se busca una mejora de la circulación para los vehículos pesados como camiones y autobuses sin llegar a afectar en gran medida al vehículo pesado, ya que el autobús ofrece un servicio de transporte público más sostenible y ecológico que el vehículo privado y el camión es necesario para el abastecimiento de las ciudades las cuales detendrían su actividad sin estos suministros. También este estudio plantea esta separación de vehículos por sus características técnicas y así poder homogeneizar los carriles para una conducción más segura y fluida.

Para resolver este problema se ha pensado como solución la instalación de un carril reservado para vehículos pesados en momentos puntuales del día con un carril dinámico señalizado con carteles de señalización variable y algún elemento que muestre al carril estudiado como un carril diferente al del resto de la carretera.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la creación de un modelo para la mejora del nivel de servicio de una vía, ya existente, con la especialización de alguno de sus carriles en momentos puntuales, siempre y cuando se cumplan las condiciones definidas por el modelo.

Este objetivo general será resuelto a partir del estudio de otros objetivos secundarios como:

- Conocimiento de las diferentes alternativas en cuanto a carriles especializados y sus características.

- Definir el efecto de los diferentes factores existentes en la vía al nivel de servició con y sin la implantación del carril estudiado.
- Adaptar el modelo creado a la realidad poniéndolo a prueba con datos actuales.
- Identificar los rangos de mejora del nivel de servicio de la vía según las características de la vía y del tráfico con la aplicación del carril.
- Mejora del nivel de servicio de alguna vía existente con la aplicación del carril estudiado e identificar el grado de mejora.

1.3. FASES DE INVESTIGACIÓN

Con el objetivo de alcanzar los objetivos anteriormente citados, el trabajo realizado ha seguido las siguientes fases:

- Identificar las diferentes tipologías y características de los carriles especializados existentes y ver sus efectos tras su implantación.
- Determinar los factores que afectan al nivel de servicio de una vía y, en concreto, al carril escogido.
- Identificar las diferentes características de la vía y del tráfico con las que mejoraría el nivel de servicio aplicando el carril estudiado.
- Comparar las características de las vías de acceso al Área Metropolitana de Barcelona con las características de la vía y del tráfico del modelo donde mejora el nivel de servicio con la implantación del carril.

1.4. ESTRUCTURA Y RESUMEN DE CONTENIDOS

El presente estudio se estructura en 7 capítulos más 4 anejos resumidos a continuación.

- Capítulo 1 (Introducción y objetivos): En él se describe el problema por el cual se plantea este estudio con los objetivos que persigue para el conocimiento de los efectos de la medida planteada.
- Capítulo 2 (Estado del arte): Recopilación y descripción de todas las posibles variantes y alternativas a la solución planteada y las diferentes características de cada una.

- Capítulo 3 (Metodología): Muestra de las diferentes características de la vía utilizada para la creación del modelo y como este se ha desarrollado en base al "*Highway Capacity Manual 2000*".
- Capítulo 4 (): Analiza los datos proporcionados por el modelo empleado y define los rangos donde la implantación del carril especializado mejoraría el flujo del tráfico.
- Capítulo 5 (Aplicación práctica): Recopila los datos geométricos y del tráfico en algunas de las vías de acceso a Barcelona para comparar si los datos del modelo se asemejan a la realidad.
- Capítulo 6 (Conclusiones): Recoge las principales conclusiones obtenidas de la investigación, expone las principales aportaciones del estudio y plantea una serie de líneas de investigación que darían continuidad a la solución presentada.
- Capítulo 7 (Referencias): Recoge todas las fuentes bibliográficas e informáticas consultadas para la realización del estudio y que han servido de referencia a lo largo del trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se mostrará todas las variantes de carriles especializados, tanto existentes como teóricos, para poder situar con mayor facilidad nuestro ámbito de estudio sabiendo que existe una amplia tipología de carriles especializados.

2.1.Tipo de infraestructura:

En este apartado se clasificarán los carriles según su desarrollo en relación con la carretera en la que se encuentra, siendo la principal diferencia entre las diferentes tipologías de carril.

a) *Infraestructura segregada*:

Se trata de infraestructuras creadas especialmente para un determinado tipo de usuario con un elevado coste de ejecución pero con una gran capacidad de pasajeros. Este tipo de tipología implica la construcción de nuevos elementos viarios con sus correspondientes accesos, estaciones, señalizaciones, etc. Generalmente se suele reservar para autobuses llegando a transportar importantes volúmenes de pasajeros.

Un ejemplo es el de Ottawa Southeast Transitway donde un solo carril para uso exclusivo de autobuses alcanza los 8000 pasajeros por hora y el East Patway de Pittsburg con una capacidad de 4200 pasajeros por hora al estar limitado por intersecciones semaforizadas. Otros ejemplos son los carriles Bus-VAO de Madrid y Barcelona. Un ejemplo urbano se encuentra en el *Passeig de Colom* de Barcelona donde se registran unas velocidades comerciales de entre 18 y 22 km/h estando compartido con los taxis.

b) *Infraestructura compartida con separación física*:

Generalmente separados por una barrera tipo New Jersey o un amplio arcén especialmente señalizado, en zonas urbanas los separadores son más estéticos y de menor impacto visual como aletas de tiburón o piedras sobrepasables. El acceso a este tipo de carriles se hace en puntos específicos desde rampas

especiales o desde los carriles del tráfico general. Es típico el cambio del sentido de circulación según la hora del día, en las horas punta de la mañana en dirección al centro urbano y por la tarde en sentido inverso. Este tipo de carril mantiene una alta capacidad de pasajeros con una inversión menor aunque sigue siendo elevada.

Un ejemplo es la Katy Freeway de Houston con un carril reversible reservado a autobuses y vehículos con una ocupación de 3 o más viajeros con un volumen de 4400 pasajeros por hora en hora punta o la de San Bernardino de Los Ángeles con similares características y con un volumen de 7000 pasajeros en hora punta. Un ejemplo urbano se encuentra en el *Passeig Picasso* de Barcelona donde se registra una velocidad comercial máxima de 18 km/h y mayor a 14 km/h.

Estos dos tipo de carriles implican altos costes de construcción, pese a esto, son fáciles de controlar los usuarios que las utilizan y de una gran eficacia como muestra el volumen de pasajeros que pueden llegar a transportar.

c) *Infraestructura compartida sin separación física*:

Generalmente se reserva el carril izquierdo de la vía aunque alguna vez se utilice el derecho aprovechando el arcén. En esta tipología solo se necesita la señalización del carril para que sea identificado por los conductores con marcas especiales en el pavimento (generalización del rombo para indicar un carril reservado para vehículos de alta ocupación), información escrita en el suelo o carteles donde se puede llegar a indicar el horario de funcionamiento o el número exigido de ocupantes.

Son carriles con un coste menor de ejecución sobre carriles ya existentes y de rápida implantación, cuando este carril se crea a partir de la ampliación de la vía, los costes se disparan. Aunque tenga mayores problemas de control, son bien aceptados por los conductores. Un ejemplo urbano se encuentra en la mayoría de ocasiones en la ciudad de Barcelona ocupando el carril derecho y con una gran pérdida de velocidad comercial por la obstaculización del carril por el resto de conductores en los giros a derecha.

d) *Infraestructura compartida a contracorriente*:

Consiste, generalmente, en la reserva del carril izquierdo del sentido con menor tráfico para la circulación en sentido contrario. Esta tipología solo se usa en aquellas autopistas con regulares desequilibrios en el volumen de tráfico que circula en cada sentido con un funcionamiento reducido a las horas del desequilibrio.

Esta tipología exige una especial consideración en temas de seguridad por lo que se suele señalizar con elementos físicos y reservado a conductores profesionales o especializados. Son de rápida implantación pero tienen unos elevados gastos de operación en comparación con los otros tipos por la colocación y retirada diaria de los elementos físicos de señalización. Un ejemplo urbano se encuentra en el *Carrer Pi i Molist* de Barcelona.

2.2.Tipo de guiado

En varias ciudades, los autobuses no son conducidos por los conductores sino que cuentan con un sistema de guiado que les marca el camino a seguir. La implantación de este sistema está concebida para trayectos repetitivos y con alta cadencia, garantizando el transporte en una ruta predeterminada, de manera ininterrumpida y sin la intervención del hombre.

Al ser gestionados de manera automática también necesitan sistemas de seguridad como escáneres láser, bumpers, sensores de varios tipos, alarmas acústicas, incluso algunos sistemas permiten al conductor variar la trayectoria de forma puntual frente a imprevistos aunque otros son completamente rígidos. Generalmente se encuentran en una vía segregada del resto de usuarios evitando el tráfico permitiendo mantener horarios.

a) *Dirección óptica*:

Este sistema se basa en el proceso de imágenes. Una cámara situada en el vehículo escanea las marcas pintadas en el suelo que representa la trayectoria de referencia. La dirección óptica permite alcanzar resultados de un tranvía con una instalación rápida y económica, permitiendo al autobús una mayor precisión a la hora de aparcar, reducir los tiempos de detención, reducir la distancia entre

autobús y plataforma. Este sistema se encuentra implantado en ciudades como Castellón (España), Ruan (Francia) y Bolonia (Italia) entre otras.

b) *Láser*:

El vehículo es equipado con una unidad láser que va realizando barridos para identificar el mayor número de reflectores existentes a su alrededor para determinar su posición en un mapa instalado previamente en su memoria. La principal ventaja de este método de guiado es la sencillez con la que se puede modificar una ruta con la existencia mientras existan reflectores por donde circule.

c) *Filo-guiado*:

El vehículo se desplaza guiándose por un hilo conductor instalado bajo el suelo gracias al campo magnético creado por este que es captado por unos sensores en la parte baja del autobús. Este método de guiado es muy sencillo aunque de una gran rigidez y cuenta con la necesidad de hacer obras cada vez que se intenta implantar o modificar.

d) *Ruedas laterales*:

Este sistema de guiado llamado Kerb Guided Busway consiste en un carril por donde circula el autobús flanqueado por bordillos a ambos lados a una distancia no mucho mayor a la de un autobús para permitirle un poco de juego. Los autobuses son dotados con dos pequeñas ruedas en los laterales que ruedan a lo largo de los bordillos guiando al vehículo por la plataforma. Fuera de la plataforma especial el autobús circula por la carretera como otro vehículo con neumáticos normal.

e) *Raíl*:

Es un punto intermedio entre tranvía y autobús ya que es propulsado por ruedas con neumáticos como los autobuses comunes pero, a la hora de controlar la dirección va en función de un conjunto de ruedas a parte sobre un raíl. Hay varios modelos en esta tipología de guiado, siendo los más frecuentes el de una

rueda sobre un raíl con doble pestaña en la rueda (modelo GLT) o el de un solo raíl con dos ruedas en diagonal para mantener la dirección (modelo Translohr).

2.3.Tipo de motorización

Actualmente, se está modernizando la flota de autobuses de la ciudad de Barcelona, y una característica de estos es la utilización de combustibles alternativos, principalmente aquellos renovables para evitar la dependencia del petróleo y reducir los niveles de contaminación, tanto a nivel ambiental como acústicos. También existen vehículos mixtos con más de una fuente de energía

a) *Vehículo de combustión interna*:

Es el autobús típico de todas las ciudades al igual que la mayoría de vehículos. Utilizan gasolina o diesel y pueden repostar en cualquier gasolinera típica como el resto de vehículos. Este tipo de combustión es un problema en las grandes ciudades donde desciende la calidad del aire provocando problemas respiratorios entre otros efectos.

b) *Energía eléctrica*:

Es una de las principales alternativas a los motores de combustión interna al ser más respetuosos con el medio ambiente. Contienen un motor eléctrico alimentado principalmente por baterías de diferentes tipos.

Esta tipología tiene una gran variedad de maneras para suministrarle la energía necesaria para su avance ya sea por: catenaria como los trolebuses generalmente para recargar las baterías que llevan instaladas ya que la catenaria puede no estar instalada en todo el recorrido, a partir de productos químicos que reaccionarán entre sí generando electricidad como en los vehículos híbridos, instalando grandes baterías en el vehículo que son recargadas en puntos especializados, captación por pavimento el cual es un método muy novedoso pero de momento muy alejado de su implantación por las grandes pérdidas de energía que sufre, etc. También es posible la utilización de más de una de estas formas para mejorar el servicio y la autonomía del vehículo.

c) *Gas natural*:

Esta fuente de energía reduce en gran cantidad los efectos nocivos del motor de combustión interna siendo hoy en día una importante alternativa. Una muestra de esto es la aplicación en las flotas urbanas dependientes de la administración, sobre todo aquellos vehículos pesados como autobuses o camiones de recogida de basuras.

2.4.Tipo de usuario

En esta tipología simplemente se muestra que las variantes de un mismo carril pueden ser muy grandes. A parte de la separación entre los diferentes medios de circulación como camiones, utilitarios, motocicletas, taxis, autobuses, bicicletas, furgonetas, etc. También se pueden diferenciar por otras características como el número de ocupantes que transportan, nivel de contaminación del mismo, peso del vehículo y límite de velocidad entre otras.

Estos carriles suelen permitir la circulación de más de uno de estos vehículos a la vez como los carriles de alta ocupación por donde pueden circular los vehículos con dos o tres o más ocupantes según las normas, carriles bus-taxi generalmente dentro de las ciudades, carriles bici como el ejemplo de los países del norte de Europa donde se está empezando a implantar autopistas dedicadas a este tipo de vehículo, etc.

Aquí en España tenemos como ejemplo el caso de Madrid donde se permite la circulación de turismos con dos o más ocupantes, motocicletas y autobuses hasta un punto del carril a partir del cual solo se permiten autobuses y motocicletas y el caso de Barcelona donde empezó con la circulación de autobuses y turismos con tres o más pasajeros hasta que se vio la baja utilización de la infraestructura frente a la capacidad de la mismo con lo que se amplió a vehículos destinados al transporte público, turismos con dos o más ocupantes, motocicletas, vehículos para personas con movilidad reducida y vehículos ecológicos.

2.5.Tipo de vigilancia

Para el control del buen uso de la infraestructura y evitar que el carril diseñado sea utilizado incorrectamente por otros usuarios o, simplemente, controlar su estado para la

planificación de su mantenimiento, se debe vigilar quien utiliza este carril y penalizar a aquellos que no lo utilicen debidamente. También permiten conocer las características del tráfico en circulación en tiempo real y hacer predicciones según estos datos y poder coordinar, por ejemplo, señales y carteles de mensaje variable. En este punto mostraremos diferentes tipos de sistemas de vigilancia para carreteras.

a) *Sistemas de peajes*:

Existen varias variantes como el peaje manual, el semiautomático y el telepeaje a los cuales van asociados otros métodos como tarjetas de proximidad, tarjetas magnéticas o efectivo para los peajes semiautomáticos o tecnología de radiofrecuencia e identificación de tags para el telepeaje. Permite un conteo y clasificación automática de los vehículos que transcurren a través de él a partir de unos sencillos sensores y sistemas de postclasificación.

b) *Sistemas ópticos*:

A partir de cámaras conectadas a un centro de control o directamente algún software, pueden identificar el tipo de vehículo sin la necesidad del procesamiento manual de imágenes y datos y actuar en consecuencia a los datos identificados.

c) *Sistemas personales*:

Generalmente con la presencia de personal administrativo, pueden situarse personal cualificado en puntos estratégicos de la vía para la vigilancia del buen uso de la vía y actuar en consecuencia. Por ejemplo, en el nuevo carril bus-VAO en la C-58, en la entrada a Barcelona, se ha creado una infraestructura en el centro de la vía para el control de los vehículos que circulan por dicho carril.

2.6.Tipo de separadores

Creados para todo tipo de situaciones, este apartado engloba desde pinturas de todos los colores y con diferentes formas hasta elementos físicos como valles New Jersey o pilonas de plástico.

Los sistemas para la separación de carriles es muy amplia y a continuación solo se mostraran unos cuantos sistemas generales y más usados en carreteras y vías transitadas.

a) *New Jersey*:

Bloque de hormigón prefabricado ampliamente utilizado en el mundo de la ingeniería civil. Se trata de un elemento grande, pesado y sólido el cual resistiría el choque de un vehículo pudiendo llegar a causarle serios desperfectos hasta dejarlo inservible para su uso.

b) *Conos*:

Generalmente utilizados para emergencias y casos puntuales por los servicios de la administración, son de rápida colocación pero muy ligeros y con el mínimo roce pueden desplazarse del lugar indicando llegando a crear confusión en los usuarios de la infraestructura.

c) *Pilonas*:

En esta categoría existen varias tipologías. Generalmente son de un material plástico o metálico con forma circular. Pueden ser automáticas (pueden subir o enterrarse en el suelo, utilizadas para el control en accesos a recintos para personal autorizado), estáticas (inamovibles después de su implantación, bastante más baratas que las automáticas), etc.

d) *Pinturas*:

La utilización de pinturas ya se utiliza actualmente para la distinción de carriles para un uso especial como pintar todo el carril de un color, escribir en el suelo los usuarios que tienen permitido el acceso a dicho carril, marcar los límites del carril de una forma especial, etc.

2.7. Tipo de señalización

En cuanto a la señalización puede encontrarse de manera estática (señalización vertical y horizontal) o dinámica (con la utilización de carteles de mensaje variable para la indicación de límites de velocidad, peligros en la vía, información del tráfico entre

otros). También puede encontrarse de manera longitudinal con marcas en la vía como antes se ha descrito sobre las pinturas o transversal con señales verticales de todo tipo.

2.8.Otras tipologías

A parte de todas estas tipologías de carril que se han mostrado y las diferentes combinaciones que existen entre ellas, hay, a parte, otras posibles combinaciones como: carriles con horarios (son típicos en las entradas en las ciudades aprovechando la diferencia de flujo en los dos sentidos de la circulación en las primeras horas del día y por la tarde), carriles reversibles (pueden estar combinados con los carriles horarios y en determinados momentos del día ir en un sentido y el resto, en el contrario, también es posible gestionar su control según las características del tráfico con una señalización dinámica sobre ellos), carriles temporales (creación de un carril extra por circunstancias excepcionales como un accidente, algún evento de gran concentración, etc. Es muy parecido al carril a contracorriente).

3. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se explica la metodología aplicada al estudio para la definición del nivel de servicio en una carretera. Para facilitar su comprensión se fragmentará en varios pasos basados en el *"Highway Capacity Manual 2000"* sobre una carretera tipo:

3.1. Características de la carretera tipo

La carretera tipo discurrirá por un terreno llano con suaves curvas que permitirá a los vehículos pesados mantener una velocidad parecida a la de los turismos con pendientes muy leves. Será una autopista o autovía con una anchura de los carriles de 3.6 metros, una distancia lateral a los obstáculos mayor a 1.8 metros por cada lado de la vía, con una mediana física existente, una densidad de accesos de 3 accesos por quilómetro que discurrirá por un terreno urbano o suburbano al estar situada en los accesos a una importante ciudad. Al aplicar el modelo a esta carretera tipo se dividirá en dos: una de un carril dedicada a los vehículos pesados y la otra del número de carriles de la carretera tipo menos uno (el dedicado a vehículos pesados).

3.2. Metodología del "*Highway Capacity Manual 2000*":

Los cálculos realizados a continuación están pensados para el análisis de segmentos de carreteras con flujo ininterrumpido sin la presencia de párquines, paradas de autobús o interferencias de peatones.

A continuación se muestra un esquema de los procesos a seguir para determinar el nivel de servicio:

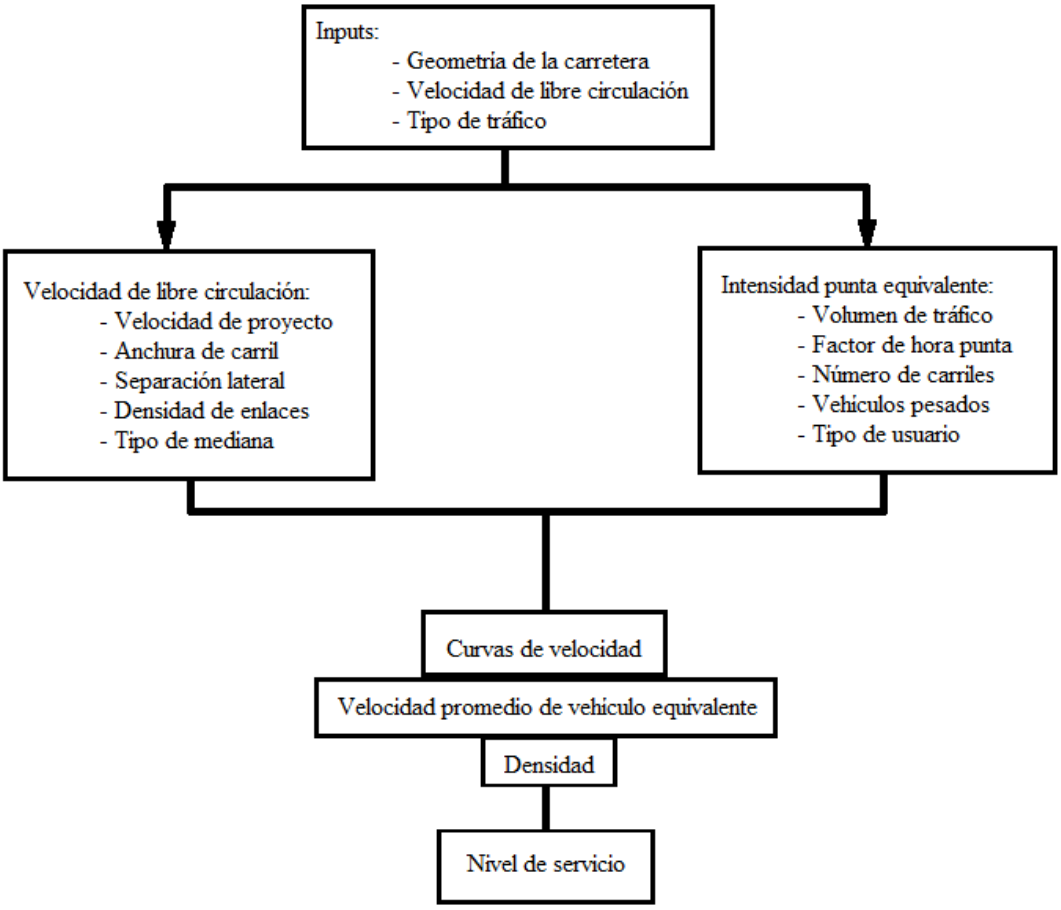

Tabla 3.1 Esquema de trabajo

Como muestra el esquema, los inputs principales para determinar el nivel de servicio son las características geométricas de la vía, la velocidad de libre circulación y las características del tráfico. Estos tres elementos se definirán y desarrollaran a continuación en profundidad.

3.3. Obtención de la velocidad de libre circulación

La velocidad de libre circulación para la carretera tipo descrita previamente se calculará según las fórmulas y tablas definidas en el *"Highway Capacity Manual 2000"* y las características de las carreteras de acceso a la ciudad de Barcelona.

La velocidad de libre circulación es un parámetro que se obtiene al restar a la velocidad de proyecto los efectos negativos provocados por la anchura de carril, la distancia lateral

a los obstáculos, el tipo de mediana entre los dos sentidos de circulación y la densidad de puntos de acceso a la vía. A continuación se muestra en qué medida afecta cada uno de estos parámetros a la velocidad de libre circulación.

Figura 3.1 FFS = BFFS – flw – flc – fm – fa

Donde:

FFS: velocidad de libre circulación (km/h)

BFFS: velocidad de proyecto (km/h)

flw: factor por anchura de carril (km/h)

flc: factor por distancia lateral a obstáculos (km/h)

fm: factor por tipo de mediana (km/)

fa: factor por densidad de enlaces en la vía (km/h)

a) *Velocidad de proyecto*:

La velocidad de proyecto utilizada en el modelo será de 100 km/h al implantar el carril en autopistas urbanas o suburbanas tal y como lo define el *"Highway Capacity Manual 2000"*. También se ha escogido esta velocidad y la de 80 km/h por los mapas de velocidad implantados en estos últimos años en los accesos a Barcelona donde la velocidad máxima es de 100 km/h y de 80 km/h en la mayoría de tramos.

b) *Factor por anchura de carril*:

Las condiciones básicas para la utilización de la fórmula para la definición de la velocidad de libre circulación en cuanto a la anchura de carril solo contempla hasta carriles con una anchura mínima de 3.0 metros, con un gran efecto de aquellas anchuras menores a 3.3 metros. A partir de anchuras igual o mayores a 3.6 metros dejan de afectar a la velocidad de libre circulación. A continuación se muestra una tabla que relaciona el efecto provocado de las diferentes anchuras de un carril.

Anchura del carril (m)	flw (km/h)
3.6	0.0
3.5	1.0
3.4	2.1
3.3	3.1
3.2	5.6
3.1	8.1
3.0	10.6

Tabla 3.2 Anchura de carril

c) *Factor por distancia lateral a obstáculos*:

En este factor se contemplan ambos laterales de la carretera. Se consideran obstáculos aquellos que sean fijos y limiten la visibilidad en la vía como señales de diferente tipología, arboles, barreras de tráfico, muros, etc. A continuación se muestra como desarrollar este factor.

Figura 3.2 TLC = LCr + LCl

Donde:

TLC: Distancia lateral total a obstáculos (m)

LCr: Distancia lateral en el lado derecho de la vía, si esta distancia es mayor a 1.8 metros se calculará como distancia lateral de 1.8 metros (m)

LCl: Distancia lateral en el lado de la mediana de la vía, si esta distancia es mayor a 1.8 metros se calculará como distancia lateral de 1.8 metros (m)

A continuación se muestra una tabla que relaciona el efecto provocado de las diferentes distancias laterales según el número de carriles.

Distancia total lateral en autopistas de 4 carriles (m)	**flc (km/h)**	**Distancia total lateral en autopistas de 6 carriles o más (m)**	**flc (km/h)**
3.6	0.0	3.6	0.0
3.0	0.6	3.0	0.6
2.4	1.5	2.4	1.5
1.8	2.1	1.8	2.1
1.2	3.0	1.2	2.7
0.6	5.8	0.6	4.5
0.0	8.7	0.0	6.3

Tabla 3.3 Distancia lateral total a obstáculos

d) *Factor por tipo de mediana*:

Si existe una división clara entre los dos sentidos de circulación de una carretera y se observa que uno no afecta al otro en ninguna circunstancia se considera que existe una división en la vía sin que afecte este término a la velocidad de libre circulación, de lo contrario, este factor afectará negativamente a esta velocidad al considerarse una vía no dividida y reduciendo la velocidad de libre circulación en 2.6 quilómetros por hora.

e) *Factor por densidad de enlaces en la vía*:

Este factor se calcula haciendo una media del número de enlaces existentes en la vía entre la distancia considerada para el cálculo de este número de enlaces, siendo esta distancia la del tramo que estamos estudiando. Estos enlaces solo son considerados si afectan al flujo del tráfico existente en la vía, contando solo los del lado analizado en vías con mediana existente y considerando los enlaces de ambos lados de la vía cuando estas se encuentran no divididas. Como en general en las vías de acceso a Barcelona esta densidad es muy reducida, cogeremos una densidad un poco mayor para estar del lado de la seguridad. A continuación se muestran en qué medida afectan las diferentes densidades a la velocidad de libre circulación.

Densidad de enlaces (enlaces/km)	fa (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Tabla 3.4 Densidad de enlaces

3.4. Obtención de la intensidad punta equivalente

Para poder estimar la intensidad punta equivalente de una carretera se necesita conocer las características del tráfico y de la vía para, a posteriori, poder determinar el nivel de servicio a partir de las fórmulas y tablas definidas en el *"Highway Capacity Manual 2000"*.

La intensidad punta equivalente es un parámetro que a continuación se mostrará el proceso para su obtención. Se basa en la aplicación de unos factores correctores a la intensidad existente determinados por la cantidad de vehículos pesados, el número de carriles de la carretera, el tipo de conductor que utiliza la infraestructura y la distribución horaria del tráfico.

Figura 3.3 $Vp = V / (PHF * N * fhv * fp)$

Donde:

Vp: intensidad punta equivalente (veh/h/carril)

V: intensidad horaria (veh/h)

PHF: factor por hora punta

N: número de carriles por sentido de circulación

fhv: factor por vehículos pesados

fp: factor por experiencia de los conductores

a) *Intensidad horaria*:

La intensidad horaria es un dato que obtenemos a partir de las estaciones de aforo situadas en las carreteras estudiadas. En caso de no tener este dato también se puede utilizar la intensidad media diaria donde la intensidad horaria en hora punta suele ser el 10% de esta.

En este estudio se ha cogido como intensidad horaria aquella que se encuentra como frontera entre los niveles de servicio B y C, C y D, D y E para conocer el comportamiento de los niveles de servicio C, D y E con el sistema planteado para aquellas carreteras con diferente número de carriles. A continuación se muestran unas tablas con estas intensidades horarias para las diferentes situaciones en zonas urbanas.

Intensidad horaria 80 km/h (veh/h)		**Nivel de servicio**		
		B/C	C/D	D/E
Número de carriles	2	1540	2290	3120
	3	2380	3500	4680
	4	3190	4630	6180
	5	4020	5980	7880

Tabla 3.5 Intensidad horaria a 80 km/h

Intensidad horaria 100 km/h (veh/h)		**Nivel de servicio**		
		B/C	C/D	D/E
Número de carriles	2	1940	2820	3680
	3	2980	4340	5570
	4	4070	5920	7500
	5	5210	7550	9450

Tabla 3.6 Intensidad horaria a 100 km/h

Estas intensidades están calculadas con datos similares a los de la carretera tipo, por ello se han utilizado estos valores ya que la diferencia entres estos datos y los reales son bastante iguales.

b) *Factor por hora punta*:

Este factor muestra la distribución del tráfico a lo largo de una hora, centrándose en si se distribuye de una forma uniforme o si hay importantes diferencias según el momento.

c) *Factor por vehículos pesados*:

La presencia de vehículos pesados disminuye la velocidad media del tráfico en general por la diferencia de sus características con los vehículos de pasajeros normales. Este factor modifica la intensidad punta equivalente para mostrar un tráfico uniforme en cuanto al tipo de vehículos que circulan. Este factor se determina con la siguiente ecuación que depende del porcentaje de vehículos pesados existentes y el grado de equivalencia entre un coche de pasajeros normal y un vehículo pesado según el tipo de terreno.

Figura 3.4 $fhv = 1 / (1 + Pt (Et – 1)$

Donde:

fhv: factor por vehículos pesados

Pt: proporción de vehículos pesados (tanto por uno)

Et: equivalencia entre un vehículo pesado y un vehículo de pasajeros normal según el tipo de terreno

A continuación se muestra la tabla para definir la equivalencia según el tipo de terreno. Se considera vehículo pesado los camiones y autobuses.

	Tipo de terreno		
	Llano	Ondulado	Montañoso
Et	1.5	2.5	4.5

Tabla 3.7 Equivalencia de vehículo pesado

d) *Factor por experiencia de los conductores*:

Este factor refleja el tipo de conductor que utiliza la infraestructura, si utilizan la vía de forma recreativa o simplemente para poderse desplazar. El valor de este factor se distribuye entre 0.85 y 1.00. Cuando este factor es de 1.00 refleja un tráfico en día laboral (usuarios fieles a este trayecto con unos horarios permanentes), en caso contrario, este factor reflejará un tráfico de ocio o de día festivo con un tipo de tráfico no tan fiel y menos familiarizado con las características de la vía.

3.5. Obtención del nivel de servicio

Para poder definir el nivel de servicio de una vía se define a partir de la densidad de la carretera que se calcula a partir de la velocidad e intensidad de la vía, parámetros procedentes de las características de la vía y del tráfico. A continuación se muestra la relación entre estas componentes.

Figura 3.5 $D = Vp / S$

Donde:

D: densidad de la vía (veh/km/carril)

Vp: intensidad punta equivalente (veh/h/carril)

S: velocidad promedio de vehículo equivalente (km/h)

Para poder conocer la velocidad promedio de vehículo equivalente simplemente se ha de aplicar una fórmula que depende de la intensidad punta equivalente y la velocidad de libre circulación, esta nueva velocidad es una rectificación de la velocidad de libre circulación ya que no tiene en cuenta el tráfico existente. A continuación se muestran las fórmulas que dependiendo de los dos parámetros antes mencionados se han de aplicar según el rango en que se encuentren.

a) *Para intensidad punta equivalente mayor a 1400 veh/h/carril:*

a.1) *Con velocidad de libre circulación entre 90 y 100 km/h*:

$$S = FFS - \left[\left(\frac{9.3}{25} FFS - \frac{630}{25} \right) \left(\frac{v_p - 1{,}400}{15.7FFS - 770} \right)^{1.31} \right]$$

Figura 3.6

a.2) *Con velocidad de libre circulación entre 80 y 90 km/h*:

$$S = FFS - \left[\left(\frac{10.4}{26} FFS - \frac{696}{26} \right) \left(\frac{v_p - 1{,}400}{15.6FFS - 704} \right)^{1.31} \right]$$

Figura 3.7

a.3) *Con velocidad de libre circulación entre 70 y 80 km/h*:

$$S = FFS - \left[\left(\frac{11.1}{27} FFS - \frac{728}{27} \right) \left(\frac{v_p - 1{,}400}{15.9FFS - 672} \right)^{1.31} \right]$$

Figura 3.8

a.4) *Con velocidad de libre circulación de 70 km/h*:

$$S = FFS - \left[\left(\frac{3}{28} FFS - \frac{75}{14} \right) \left(\frac{v_p - 1{,}400}{25FFS - 1{,}250} \right)^{1.31} \right]$$

Figura 3.9

b) *Para intensidad punta equivalente menor o igual a 1400 veh/h/carril*:

Figura 3.10 S = FFS

Una vez definida la intensidad punta equivalente y la velocidad promedio de vehículo equivalente se calculará la densidad y con ella tendremos el nivel de servicio. A continuación se muestran los campos en que se mueve cada nivel de servicio junto a las curvas de velocidad y las densidades asociadas a cada nivel de servicio.

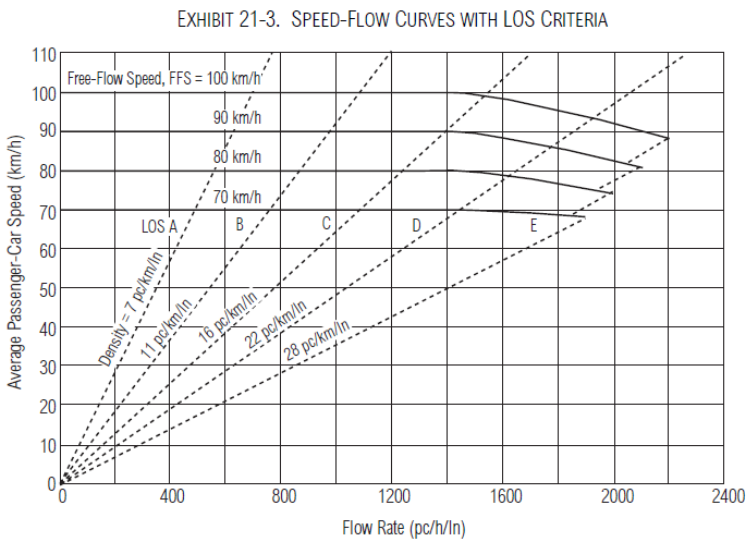

Tabla 3.8 Curvas de velocidad

NIvel de servicio	Densidad (veh/km/carril)
A	D <= 7
B	7 < D <= 11
C	11 < D <= 16
D	16 < D <= 22
E	22 < D <= 28*
F	28* < D

Tabla 3.9 Nivel de servicio

3.6. Niveles de servicio

A continuación se definirán los diferentes niveles de servicio y sus características.

Nivel A: Describe un flujo libre donde se mantiene la velocidad de libre circulación. Los vehículos se encuentran completamente libres a la hora de maniobrar pos la falta de tráfico. Cualquier contratiempo o incidente es fácilmente solucionado.

Nivel B: Representa un flujo razonablemente libre donde se mantiene la velocidad de libre circulación. La libertad de maniobra es limitada ligeramente con un nivel físico y psicológico de confort en los conductores elevado. Cualquier contratiempo o incidente es fácilmente solucionado.

Nivel C: Representa un flujo con una velocidad igual o cercana a la velocidad de libre circulación. La libertad de maniobra empieza a encontrarse limitada con la necesidad de prestar atención para el cambio de carril. Pequeños accidentes pueden ser absorbidos fácilmente pero el deterioro local puede empezar a notarse.

Nivel D: Representa un flujo con velocidades por debajo de la velocidad de libre circulación con el aumento de la intensidad y densidad. La libertad de maniobra con el tráfico se empieza a encontrar limitada con una reducción del confort en los conductores. Pequeños incidentes pueden empezar a crear colas por la elevada densidad.

Nivel E: Representa operaciones al nivel de la capacidad de la vía con una muy elevada densidad en los carriles. El efecto de enlaces o conductores intentando cambiar de carril puede establecer un efecto onda que se propague por todo el tráfico. El más mínimo incidente puede generar importantes colas.

Nivel F: Representa cortes en el flujo de vehículos. Este nivel convive con la existencia de colas en puntos determinados por una demanda que llega a igualar la capacidad de la vía provocado, normalmente, por un cuello de botella. Este nivel tiene un elevado potencial para la creación de colas de longitud importante.

4. MODELO

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos de la aplicación del caso de estudio siguiendo la metodología mostrada en el capítulo anterior. Se busca la definición de aquellas características donde este modelo se podría implantar para una mejora del nivel de servicio en las carreteras.

4.1. Análisis de datos

Según lo que muestran las gráficas se puede determinar que ha mayor número de carriles, menor es el porcentaje de vehículos pesados necesarios para mantener unos niveles de servicio similares a los de la infraestructura sin modificar. También, como era de esperar, a mayor volumen horario de vehículos, mayor es la densidad en la vía y peor el nivel de servicio. Como muestran los gráficos, con este sistema se puede penalizar a los vehículos ligeros descendiendo su nivel de servicio para mejorar el transporte de vehículos pesados formado por autobuses y camiones, de los cuales, los primeros fomentan un transporte sostenible mejorando el transporte en general y los segundos son alta importancia ya que son los que abastecen a las ciudades con provisiones necesarias para su desarrollo, en cambio, los vehículos ligeros no es tan necesarios su uso ya que la mayoría de la población alrededor de las ciudades importantes cuentan con transporte público de mejor o menor calidad que les permite la entrada a las grandes ciudades con sus diferentes modalidades.

Con este estudio buscamos una mejora del nivel de servicio de los vehículos pesados mientras los vehículos de pasajeros normales no vean afectada en exceso su calidad de circulación por la vía. Este posible descenso de calidad de circulación lo definiremos como la necesidad de mantener su nivel de servicio aunque aumente la densidad de estos, en cuanto esta medida deja de favorecer a los vehículos pesados, este sistema deja de cumplir con sus objetivos.

Para determinar los límites del sistema, los determinaremos por dos variantes, una será cuando la densidad de los vehículos pesados supere a la de la vía sin ejecutar este sistema, la otra será mantener el nivel de servicio en los vehículos ligeros a partir de las gráficas estudiadas. A continuación se muestran los resultados para cada carretera tipo según los diferentes tipos de tráfico.

4.2. Carreteras con limitación de velocidad de 80 km/h

4.2.1. Carreteras con 2 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

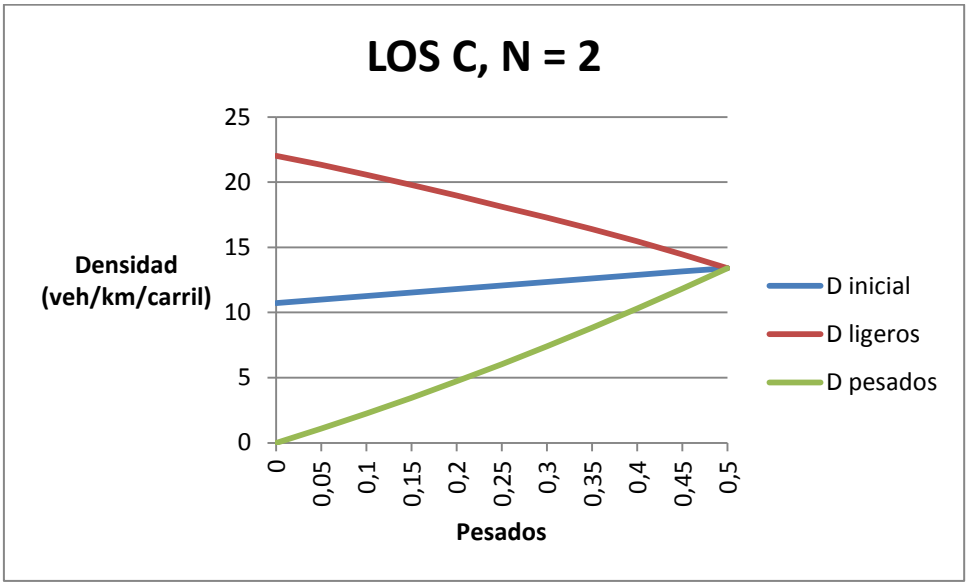

Tabla 4.1 Nivel de servicio C con 2 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 35 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: 35 % a 50 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

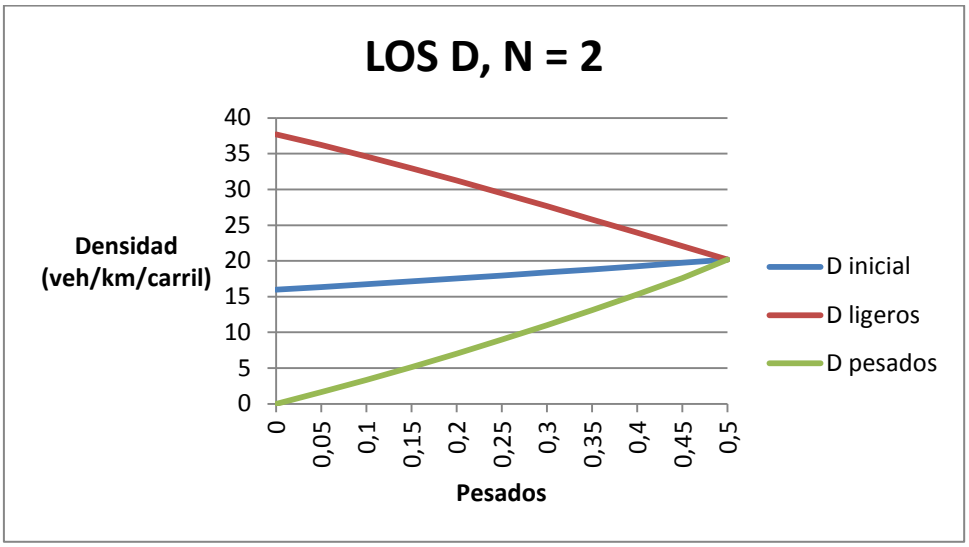

Tabla 4.2 Nivel de servicio D con 2 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 45 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: 45 % a 50 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

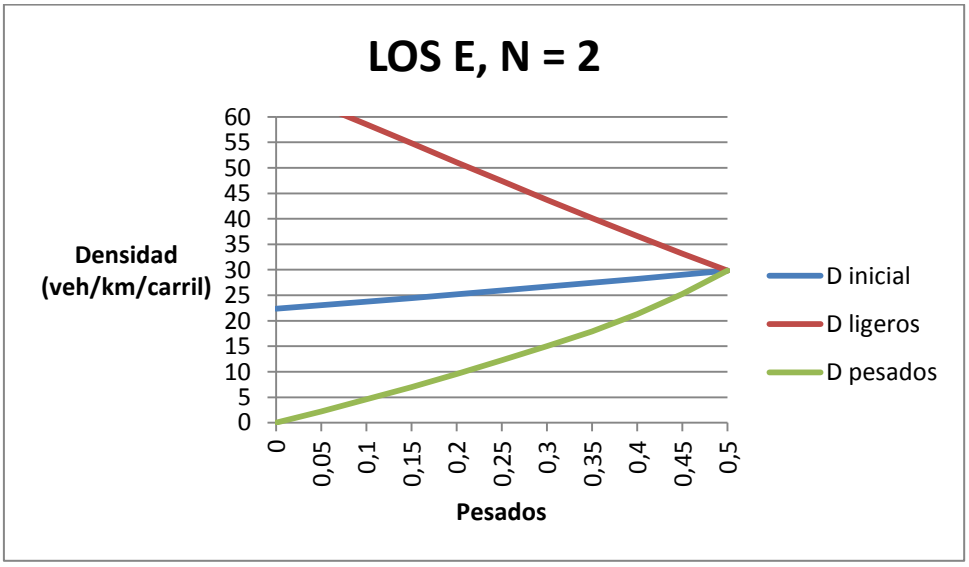

Tabla 4.3 Nivel de servicio E con 2 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: mayor al 50 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: sin zona de operación

4.2.2. Carreteras con 3 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

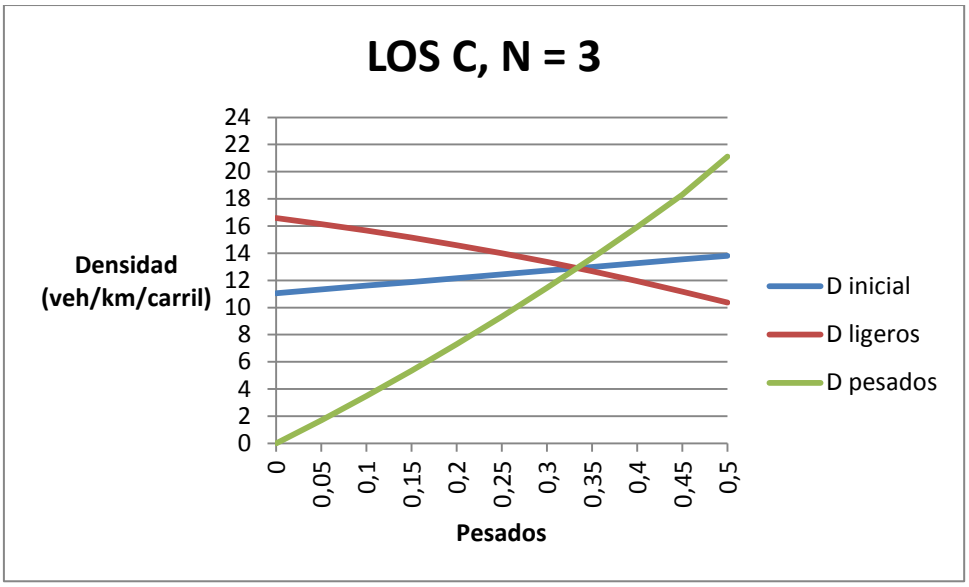

Tabla 4.4 Nivel de servicio C con 3 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 5 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 40 %

Zona de operación del sistema: 5 % a 40 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

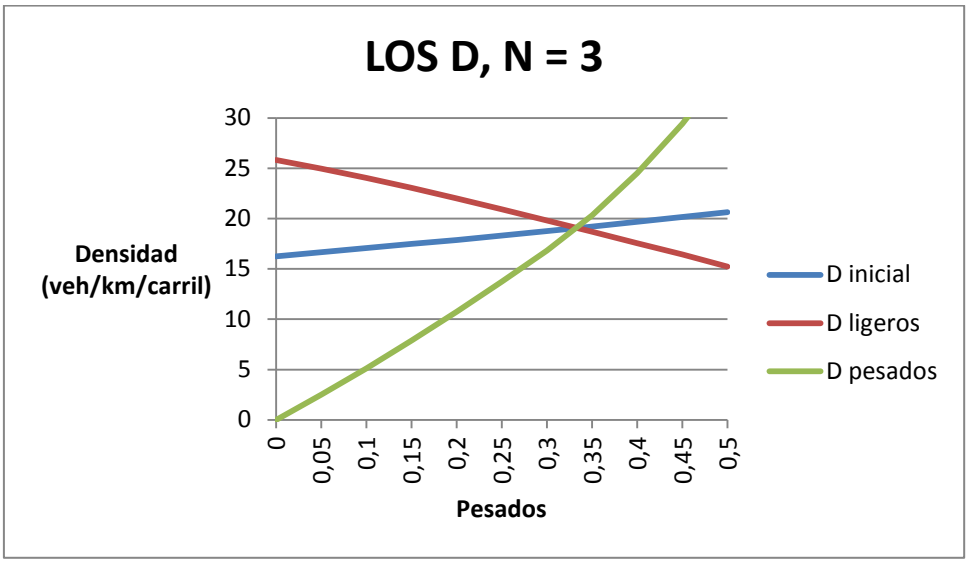

Tabla 4.5 Nivel de servicio D con 3 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 20 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 37 %

Zona de operación del sistema: 20 % a 37 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

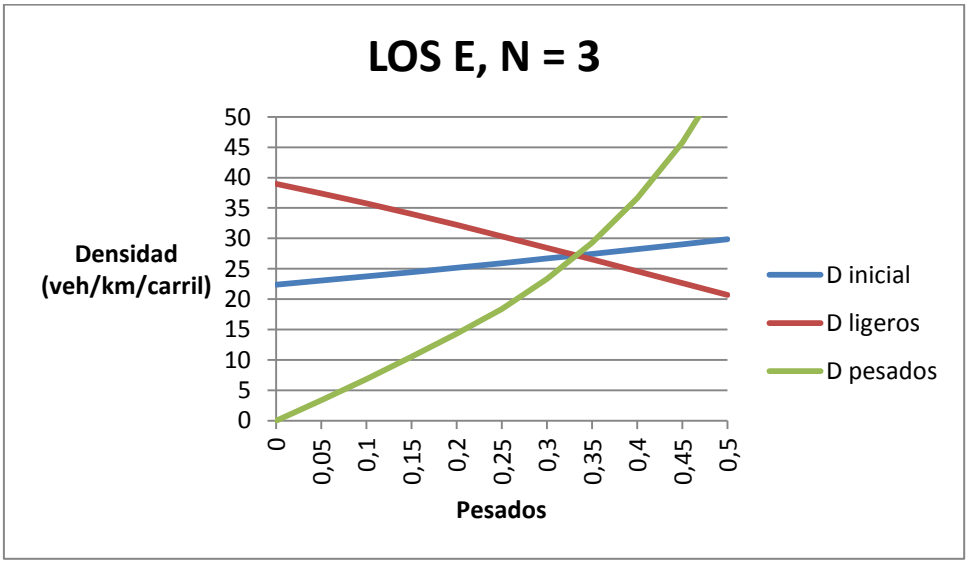

Tabla 4.6 Nivel de servicio E con 3 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 33 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 35 %

Zona de operación del sistema: 33 % a 35 % de vehículos pesados

4.2.3. Carreteras con 4 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

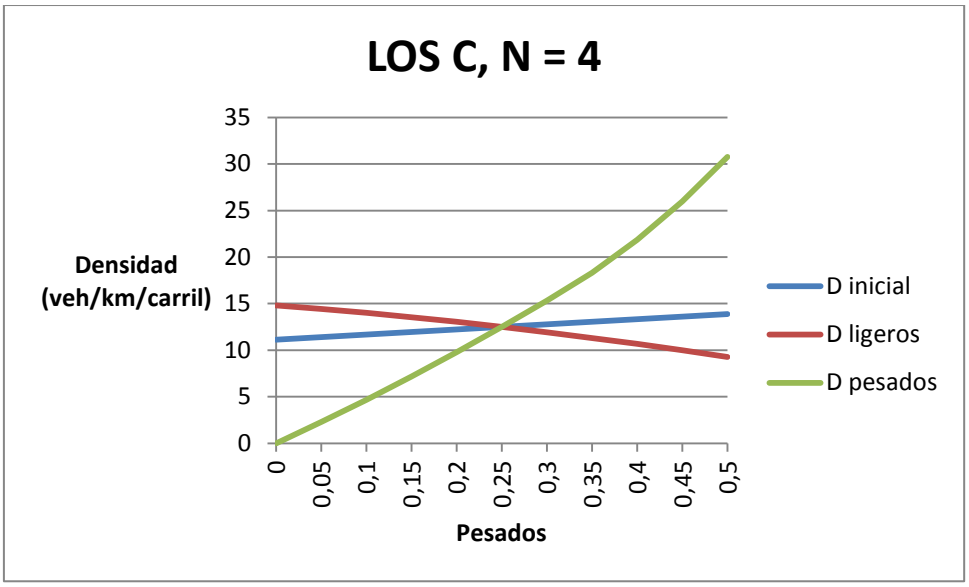

Tabla 4.7 Nivel de servicio C con 4 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 31 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 31 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

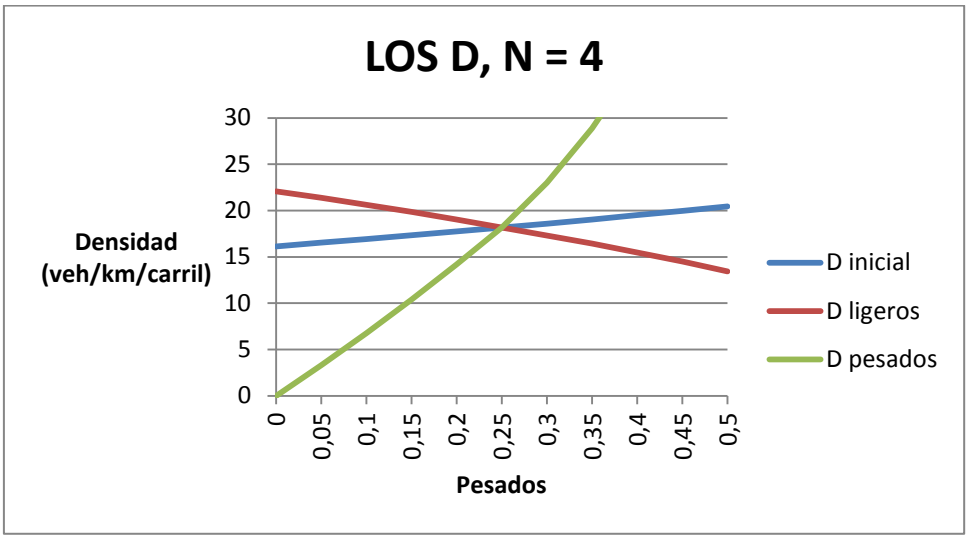

Tabla 4.8 Nivel de servicio D con 4 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 29 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 29 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

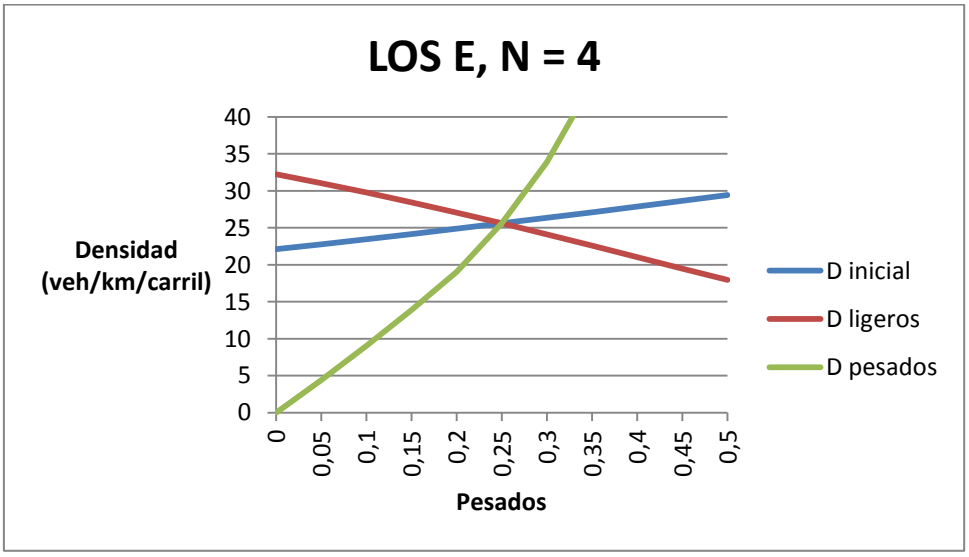

Tabla 4.9 Nivel de servicio E con 4 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 15 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 27 %

Zona de operación del sistema: 15 % a 27 % de vehículos pesados

4.2.4. Carreteras con 5 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

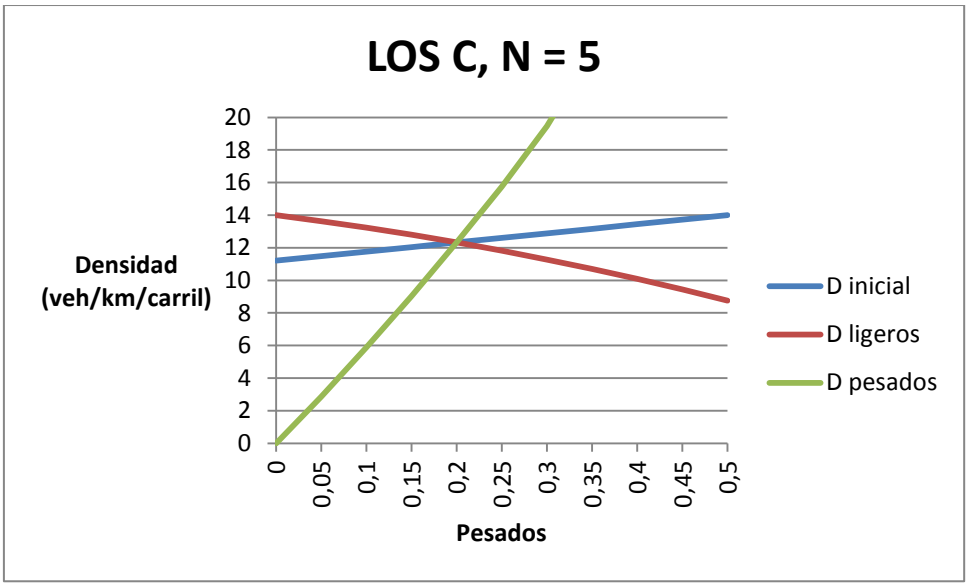

Tabla 4.10 Nivel de servicio C con 5 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 25 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 25 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

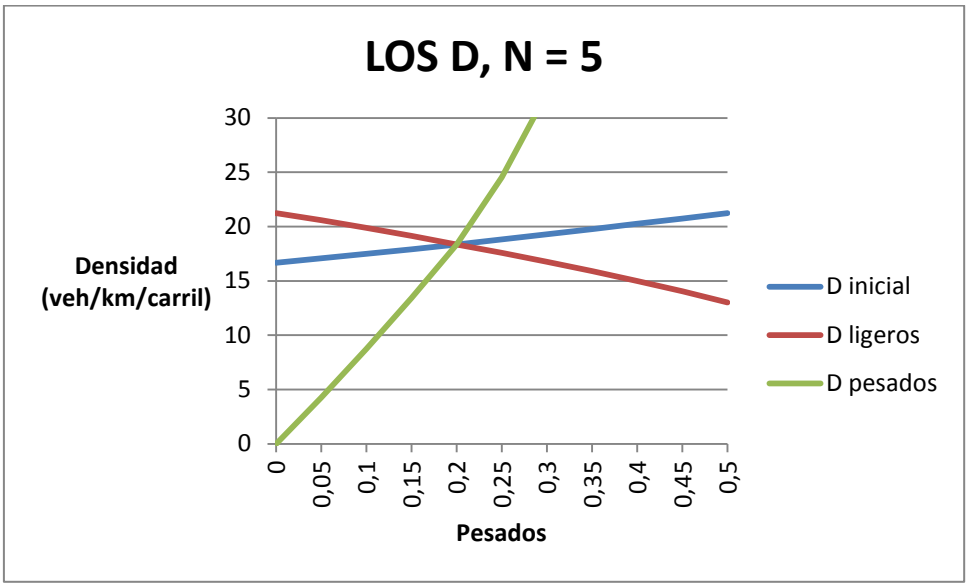

Tabla 4.11 Nivel de servicio D con 5 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 23 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 23 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

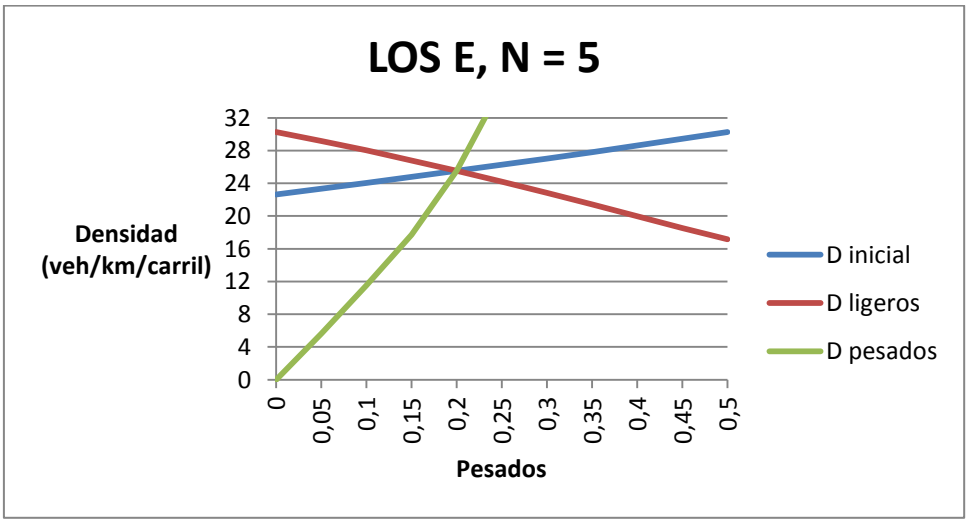

Tabla 4.12 Nivel de servicio E con 5 carriles a 80 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 10 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 21 %

Zona de operación del sistema: 10 % a 21 % de vehículos pesados

4.3. Carreteras con limitación de velocidad de 100 km/h

4.3.1. Carreteras con 2 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

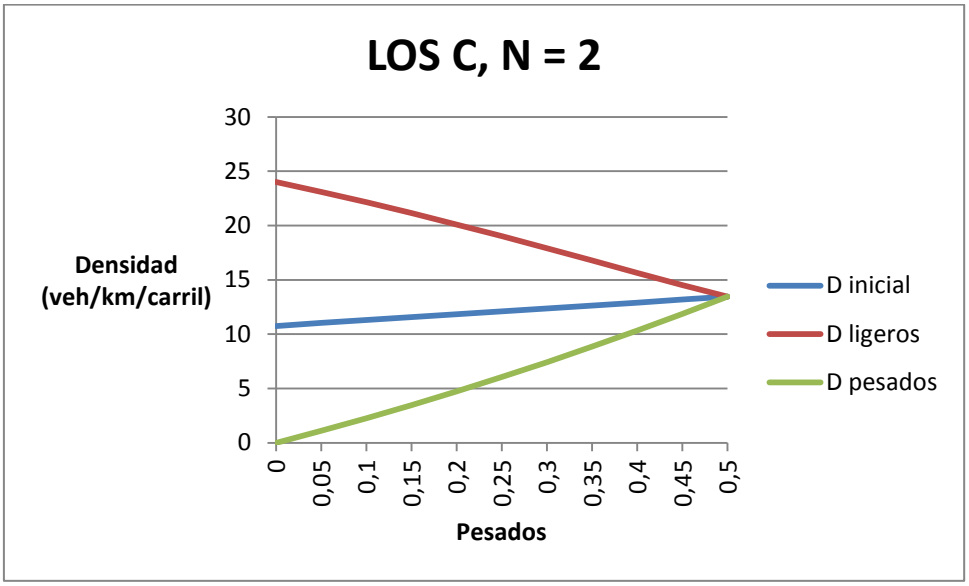

Tabla 4.13 Nivel de servicio C con 2 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 38 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: 38 % a 50 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

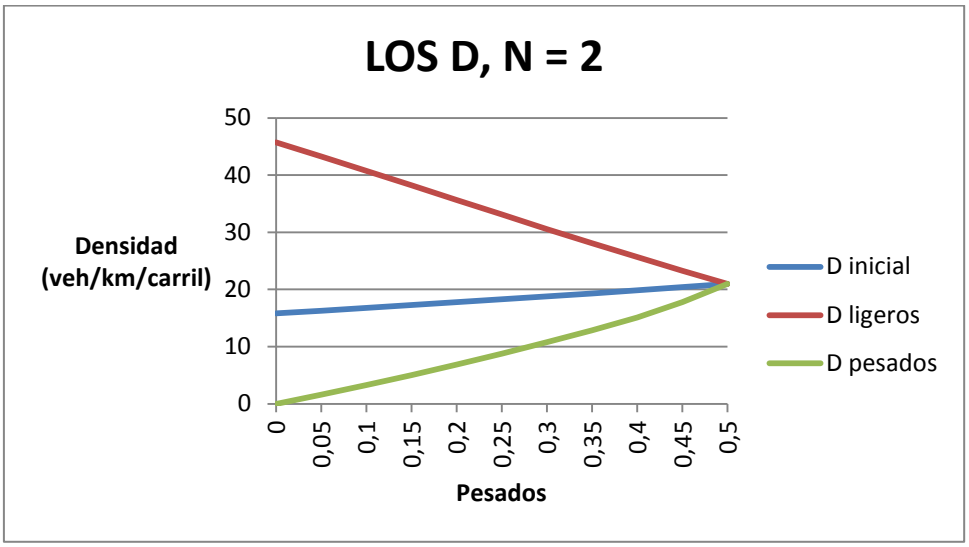

Tabla 4.14 Nivel de servicio D con 2 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 48 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: 48 % a 50 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

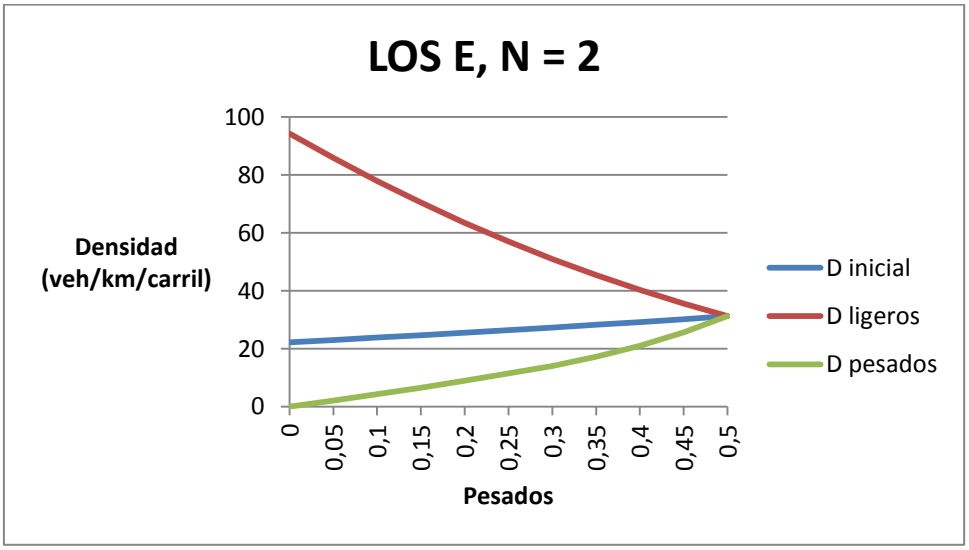

Tabla 4.15 Nivel de servicio E con 2 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: mayor al 50 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 50 %

Zona de operación del sistema: sin zona de operación

4.3.2. Carreteras con 3 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

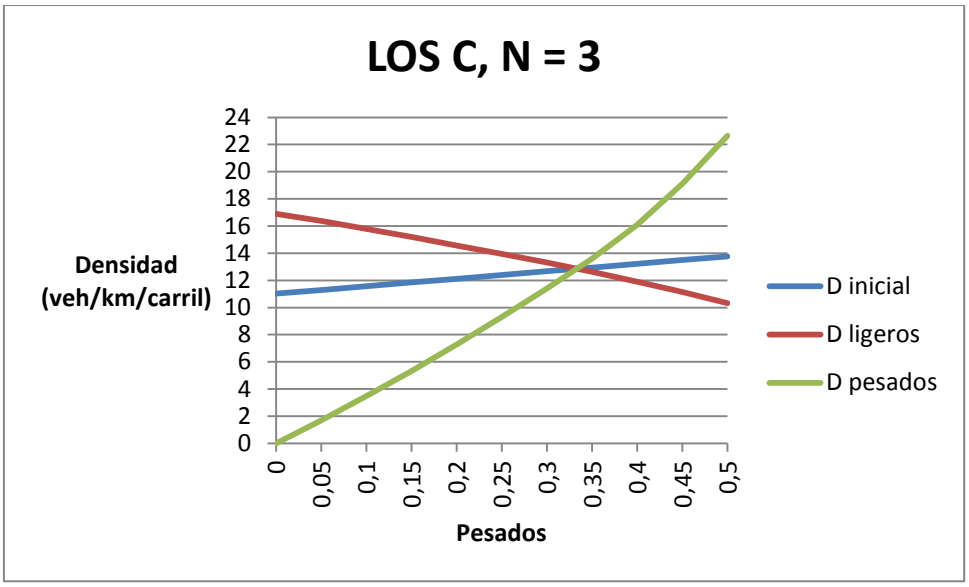

Tabla 4.16 Nivel de servicio C con 3 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 10 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 40 %

Zona de operación del sistema: 10 % a 40 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

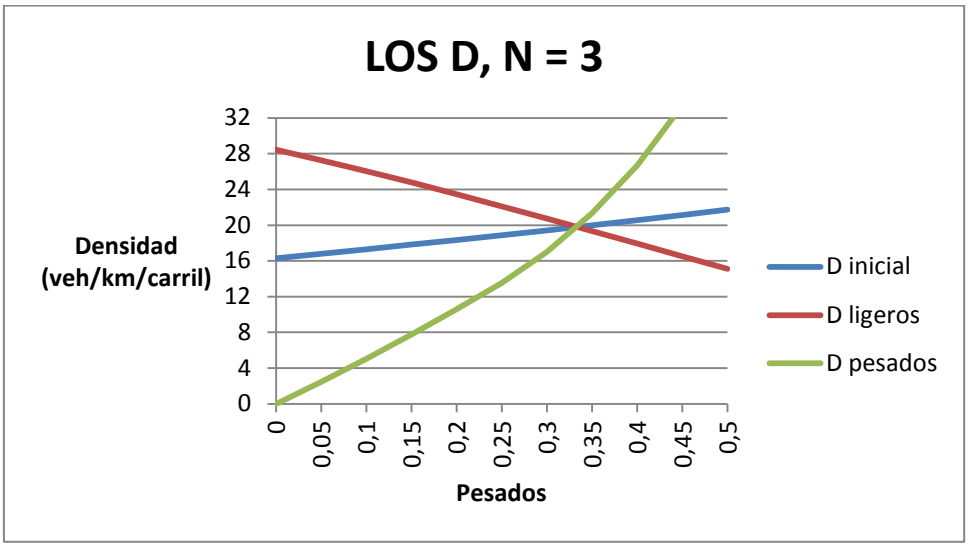

Tabla 4.17 Nivel de servicio D con 3 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 25 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 35 %

Zona de operación del sistema: 25 % a 35 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

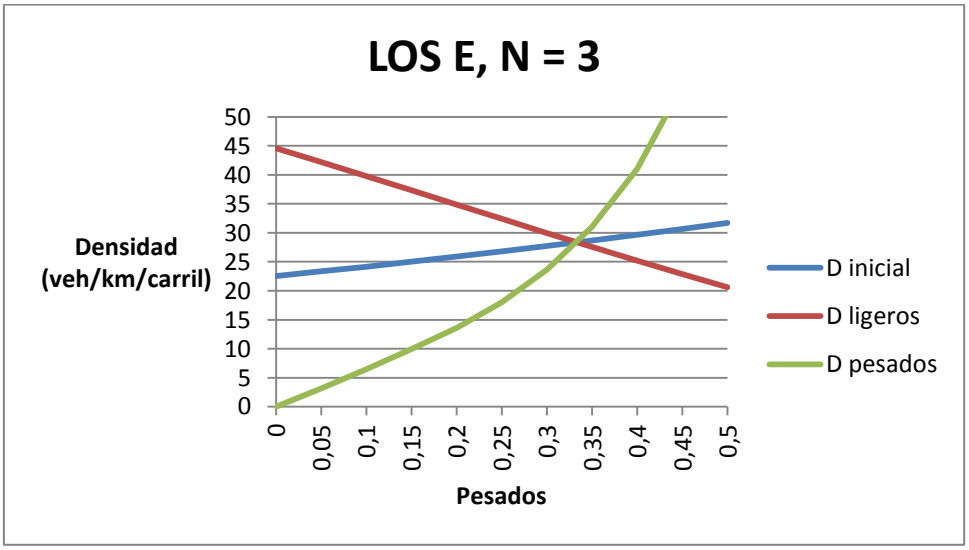

Tabla 4.18 Nivel de servicio E con 3 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 33 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 33 %

Zona de operación del sistema: sin zona de operación

4.3.3. Carreteras con 4 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

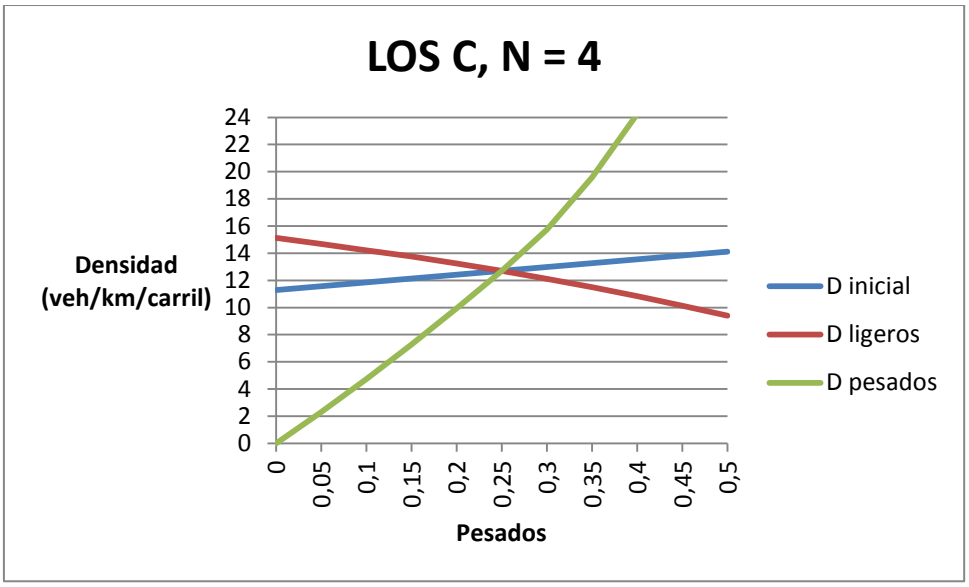

Tabla 4.19 Nivel de servicio C con 4 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 30 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 30 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

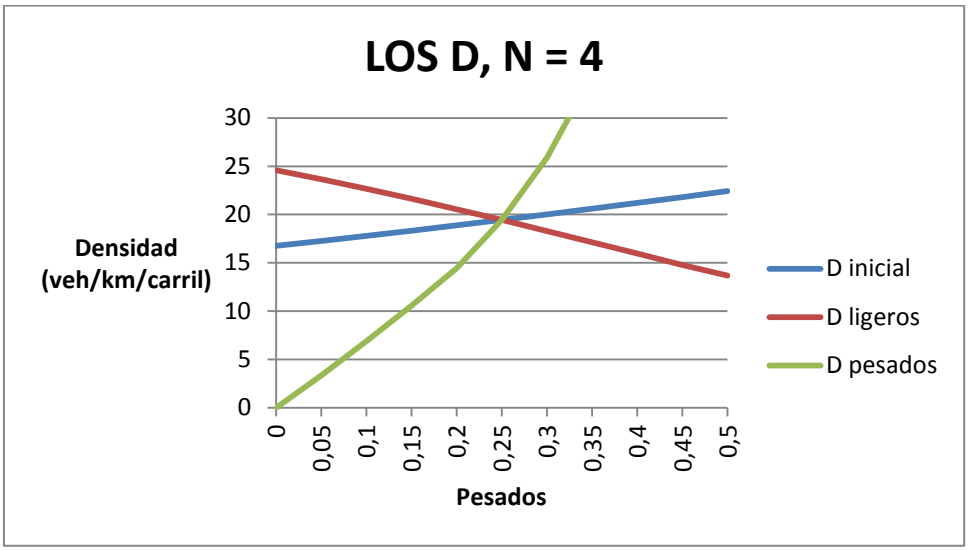

Tabla 4.20 Nivel de servicio D con 4 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 13 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 27 %

Zona de operación del sistema: 13 % a 27 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

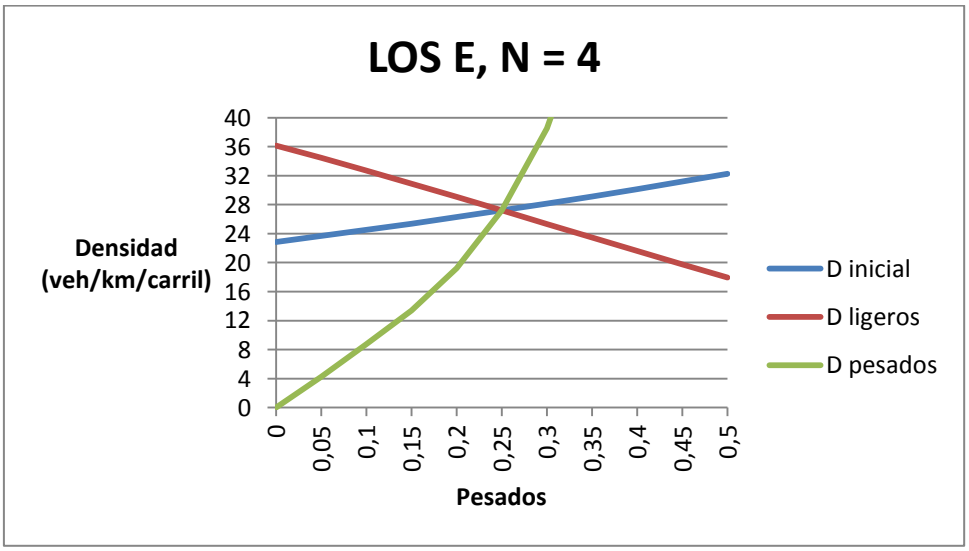

Tabla 4.21 Nivel de servicio E con 4 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 20 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 25 %

Zona de operación del sistema: 20 % a 25 % de vehículos pesados

4.3.4. Carreteras con 5 carriles

a) *Nivel de servicio C*:

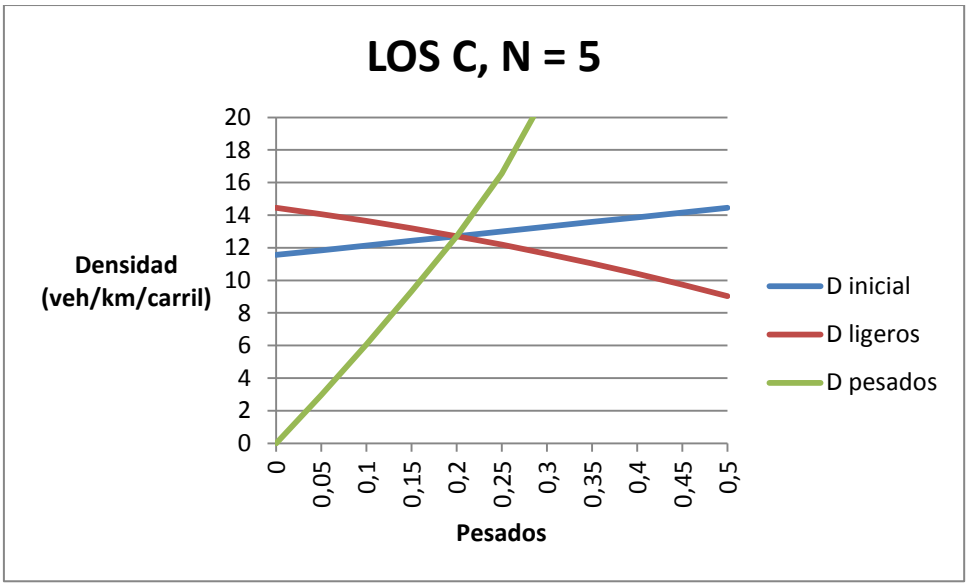

Tabla 4.22 Nivel de servicio C con 5 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 0 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 24 %

Zona de operación del sistema: 0 % a 24 % de vehículos pesados

b) *Nivel de servicio D*:

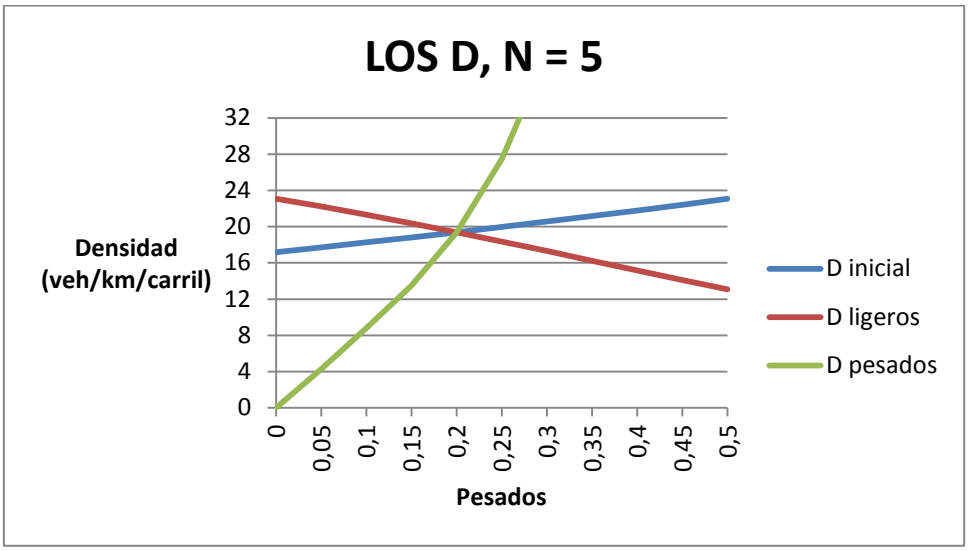

Tabla 4.23 Nivel de servicio D con 5 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 8 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 22 %

Zona de operación del sistema: 8 % a 22 % de vehículos pesados

c) *Nivel de servicio E*:

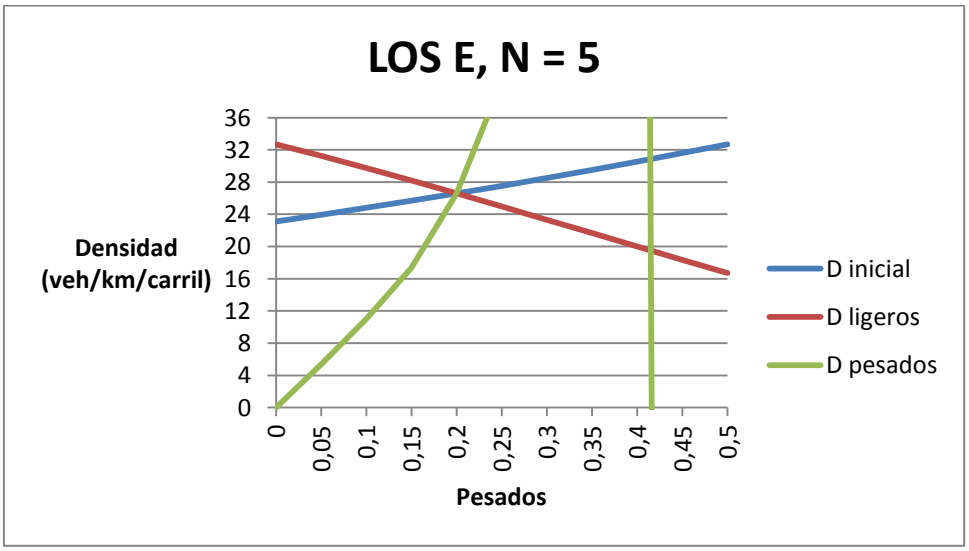

Tabla 4.24 Nivel de servicio E con 5 carriles a 100 km/h

Porcentaje de vehículos pesados para el cambio de nivel: 14 %

Porcentaje de vehículos pesados en la intersección entre estado inicial y los vehículos pesados: 20 %

Zona de operación del sistema: 14 % a 20 % de vehículos pesados

4.4. Resumen de datos

A continuación se muestran los datos anteriormente mostrados de una forma más reducida para facilitar su análisis y comprensión.

Zonas de operatividad (%)		**Número de carriles**			
80 km/h		2	3	4	5
Nivel de servicio	B/C	35 a 50	5 a 40	0 a 31	0 a 25
	C/D	45 a 50	20 a 37	0 a 29	0 a 23
	D/E	50 a 50	33 a 35	15 a 27	10 a 21

Tabla 4.25 Zona de operatividad a 80 km/h

Zonas de operatividad (%)		**Número de carriles**			
100 km/h		2	3	4	5
Nivel de servicio	B/C	38 a 50	10 a 40	0 a 30	0 a 24
	C/D	48 a 50	25 a 35	13 a 27	8 a 22
	D/E	50 a 50	33 a 33	20 a 20	14 a 20

Tabla 4.26 Zona de operatividad a 100 km/h

Como se puede observar en ambas tablas, las autovías de 2 y 3 carriles necesitan un alto porcentaje de vehículos pesados para la operatividad de este sistema de carril con un pequeño rango de juego para su implantación. En las de 4 y 5 carriles este porcentaje sigue siendo elevado en niveles de servicio pobres como el E, en cambio, en los niveles de servicio C y D se observa un amplio rango para la implantación de este carril, sobre todo en las zonas de 80 quilómetros por hora.

Cada nivel de servicio está asociado a una intensidad horaria según la limitación de velocidad en la vía y el número de carriles que se muestran a continuación.

Intensidad horaria 80 km/h (veh/h)		**Nivel de servicio**		
		B/C	C/D	D/E
Número de carriles	2	1540	2290	3120
	3	2380	3500	4680
	4	3190	4630	6180
	5	4020	5980	7880

Tabla 4.27 Intensidad horaria a 80 km/h

Intensidad horaria 100 km/h (veh/h)		**Nivel de servicio**		
		B/C	C/D	D/E
Número de carriles	2	1940	2820	3680
	3	2980	4340	5570
	4	4070	5920	7500
	5	5210	7550	9450

Tabla 4.28 Intensidad horaria a 100 km/h

4.5 Zonas de operatividad

A continuación se muestra los rangos de operatividad del carril según el número de carriles, la velocidad en la vía y la intensidad horaria.

4.5.1 Vías a 80 km/h

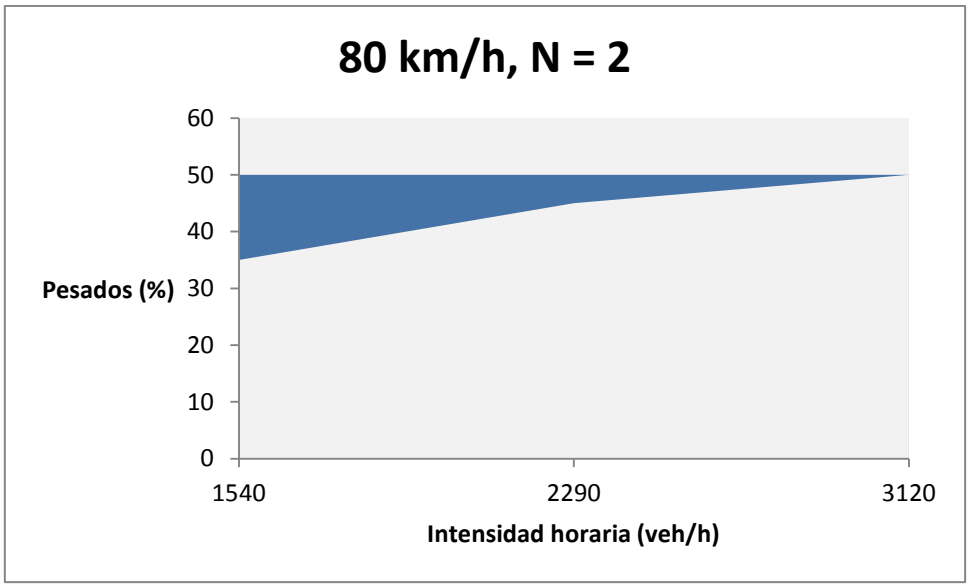

Tabla 4.29 Zona de operatividad a 80 km/h con 2 carriles

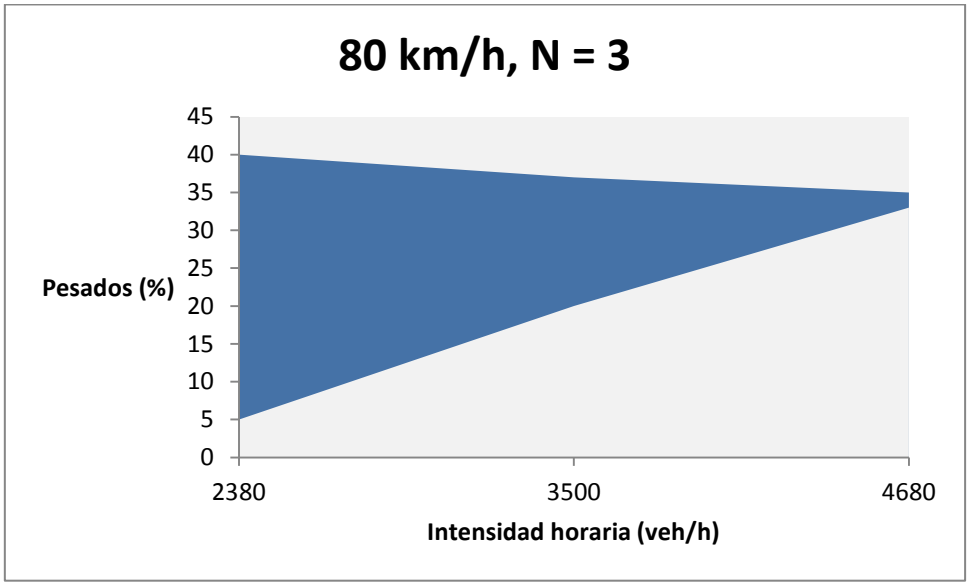

Tabla 4.30 Zona de operatividad a 80 km/h con 3 carriles

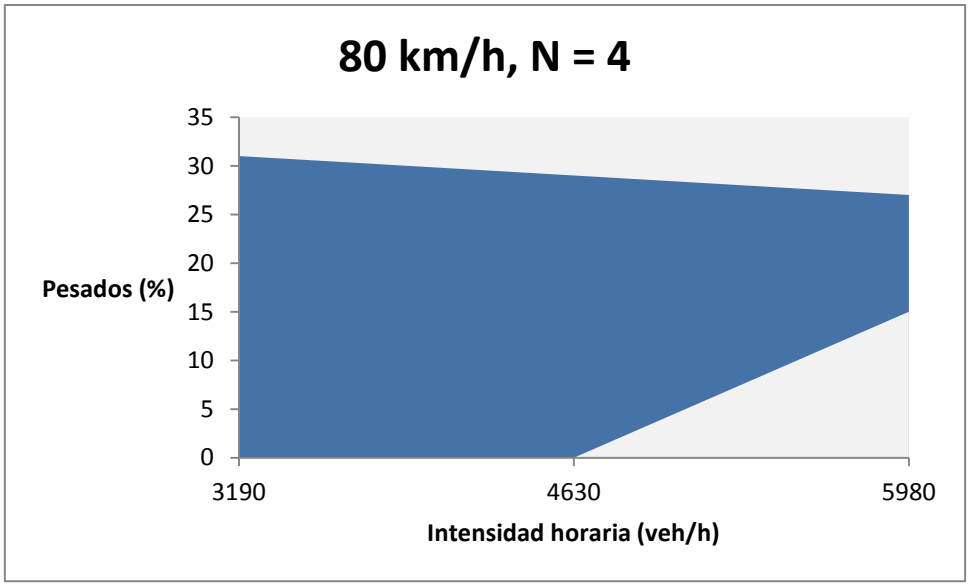

Tabla 4.31 Zona de operatividad a 80 km/h con 4 carriles

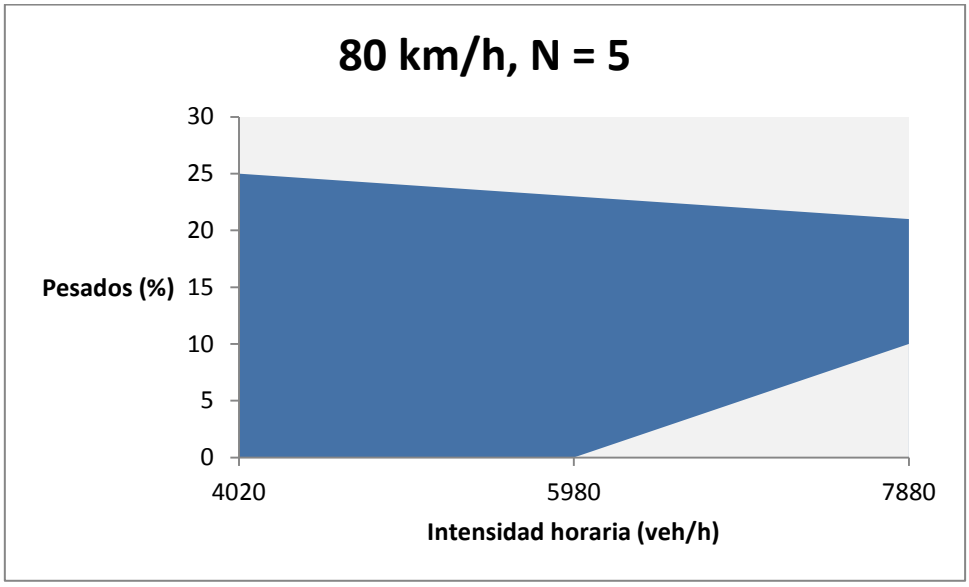

Tabla 4.32 Zona de operatividad a 80 km/h con 5 carriles

4.5.2 Vías a 100 km/h

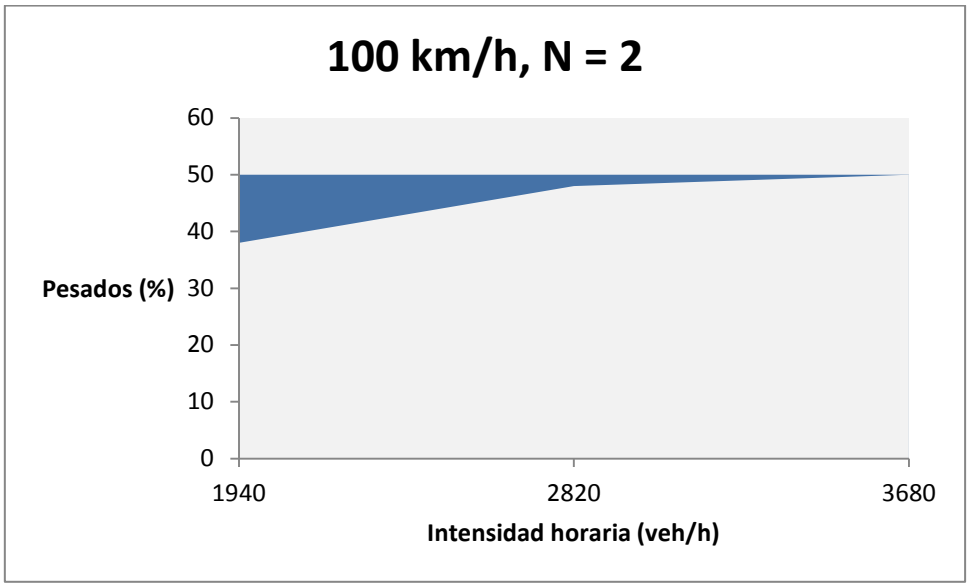

Tabla 4.33 Zona de operatividad a 100 km/h con 2 carriles

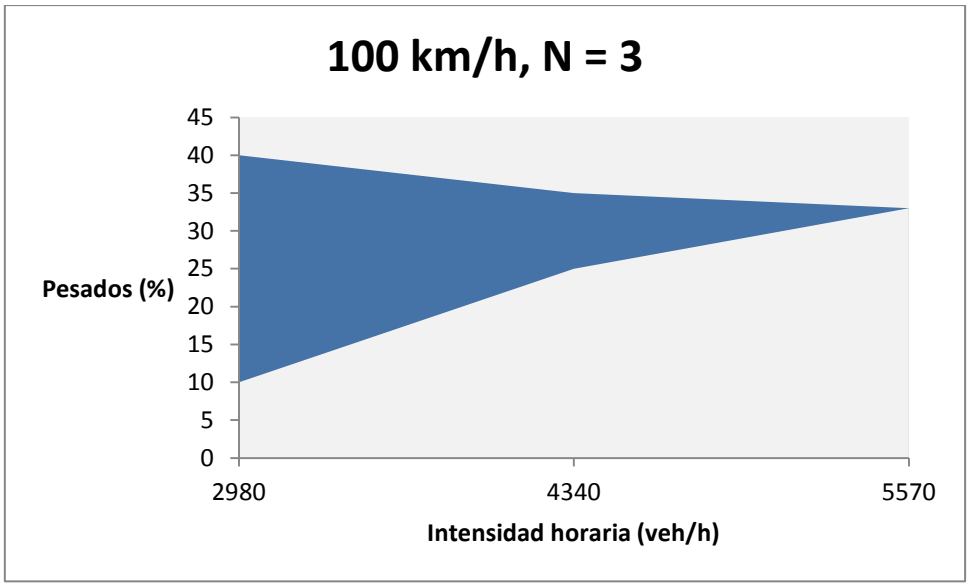

Tabla 4.34 Zona de operatividad a 100 km/h con 3 carriles

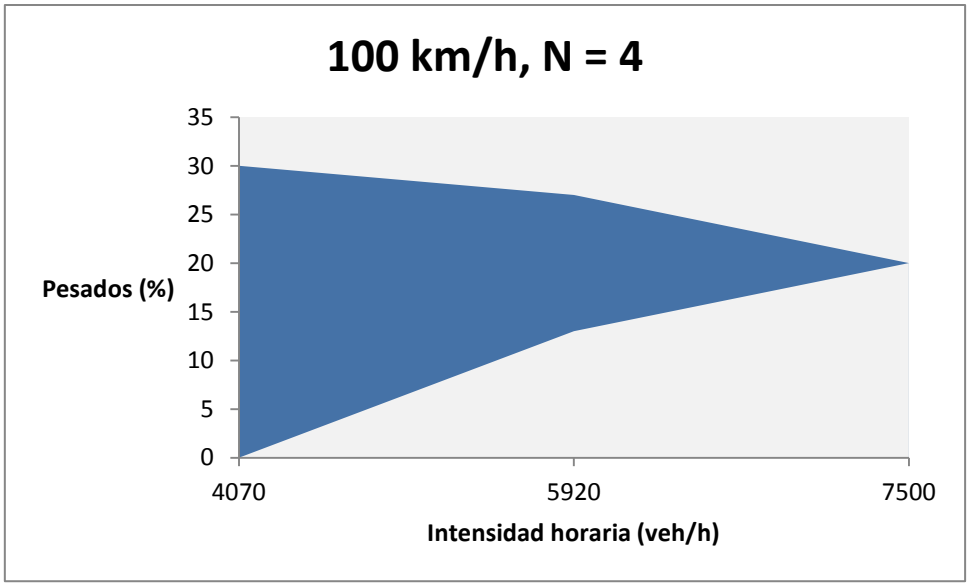

Tabla 4.35 Zona de operatividad a 100 km/h con 4 carriles

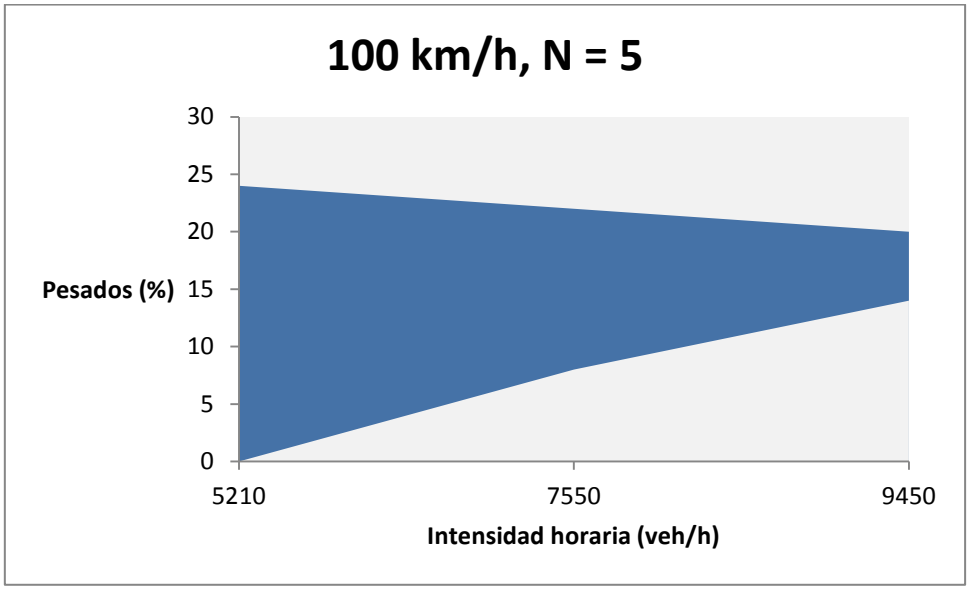

Tabla 4.36 Zona de operatividad a 100 km/h con 5 carriles

5. APLICACIÓN PRÁCTICA

En este capítulo se analiza las características de las vías de acceso a Barcelona y el tipo de tráfico que discurre por ellas. Estos resultados se compararán con los resultados obtenidos del modelo en cuanto a las zonas de aplicación para poder mejorar el nivel de servicio de alguna de estas vías y ver en qué medida sería esta mejora.

5.1. Procedimiento

A partir de los datos de las carreteras existentes se comprobará si estas cumplen con las características para la implantación del sistema.

Primero, buscaremos los datos de la carretera para conocer sus características geométricas y el tipo de tráfico que mueve para determinar su intensidad horaria y el porcentaje de vehículos pesados. Con estos datos haremos una regla de tres para saber si el porcentaje de pesados se encuentra dentro de la zona de operatividad. Se utilizará una regla de tres por la simpleza de la operación y por la linealidad de las gráficas expuestas en el capítulo anterior.

Tras conocer los datos de la carretera, se hará una regla de tres para conocer el límite inferior de la zona de operatividad ya que, como muestran los gráficos, el límite superior depende principalmente y casi en exclusiva al número de carriles de la vía. Tras conocer el rango de operatividad simplemente hay que comprobar si el porcentaje de pesados de la vía se encuentra dentro de este rango, si es así, la implantación del sistema mejorará el nivel de servicio de la vía, en cambio, si no entrará en el rango, la implantación del sistema implicaría un empeoramiento del nivel de servicio para los vehículos ligeros, pesados o ambos en exceso con un gran impacto en el flujo respecto un día normal.

5.2. Características de las carreteras

A continuación se mostrarán las características de diferentes carreteras de acceso a la ciudad de Barcelona en el punto de los aforamientos hechos por el estado. Entre estas características encontraremos tanto las características geométricas, como las

características del tráfico de estas carreteras. La clasificación se hará para cada estación de aforamiento.

5.2.1. B-134-1

Situada en la carretera A-2 en el PK 608+250, en el municipio de Cornellà, compuesta por 3 carriles para cada sentido y con una limitación de velocidad de 100 km/h. Entra a Barcelona por el oeste para pasar a ser la *Ronda Litoral* (B-10) y acabar saliendo de Barcelona por el norte. A continuación se muestran las características del tráfico en esta vía.

5.2.2. B-219-2

Situada en la carretera B-23 en el PK 2+500, en el municipio de Sant Just Desvern, compuesta por 3 carriles para cada sentido y con una limitación de velocidad de 80 km/h. Entra a Barcelona por el oeste para pasar a ser la *Avinguda Diagonal* y entrar hasta el centro de Barcelona. A continuación se muestran las características del tráfico en esta vía.

5.2.3. B-225-1

Situada en la carretera B-20 en el PK 18+680, en el municipio de Santa Coloma de Gramenet, compuesta por 3 carriles para cada sentido y con una limitación de velocidad de 80 km/h. Entra a Barcelona por el norte atravesando el *Túnel de la Pallaresa* y el *Túnel de Santa Coloma* para pasar a ser la *Ronda de Dalt* y acabar saliendo por el suroeste de Barcelona, por la C-32. A continuación se muestran las características del tráfico en esta vía.

5.2.4. E-76-0

Situada en la carretera B-23 (E-90) en el PK 7+510, en el municipio de Sant Feliu de Llobregat, compuesta por 4 carriles para cada sentido y con una limitación de velocidad de 100 km/h. Entra a Barcelona por el oeste para pasar a ser la *Avinguda Diagonal* y acabar entrando hasta el centro de Barcelona. A continuación se muestran las características del tráfico en esta vía.

5.2.5. E-372-0

Situada en la carretera A-2 (E-90) en el PK 602+960, en el municipio de Sant Vicenç dels Horts, compuesta por 3 carriles para cada sentido y con una limitación de velocidad de 80 km/h. Entra a Barcelona por el oeste para dividirse en dos, una que pasar a ser la B-23 y acabará en la *Avinguda Diagonal* y otra que pasara a ser la B-10 y acabará en la *Ronda Litoral*. A continuación se muestran las características del tráfico en esta vía.

5.3. Implantación del sistema con la intensidad horaria punta

En este apartado se analizarán los datos para extraer los necesarios para comprobar si es posible la implantación del carril según los rangos definidos en anteriores capítulos. Para ello necesitaremos saber la velocidad de circulación, el número de carriles por sentido, la intensidad horaria y el porcentaje de vehículos pesados. Estos parámetros serán necesarios para cada sentido de la circulación de la vía a estudiar. Como se observa en los rangos definidos, la zona de menor operatividad es en aquellos peores niveles de servicio provocados por una alta intensidad en el tráfico, por ellos se ha utilizado la intensidad horaria punta de cada vía, y como velocidad de circulación cogeremos los límites de velocidad implantados por la Generalitat en los accesos a Barcelona.

A partir de estos datos se calculará el rango de juego del porcentaje de pesados para ver si cumple.

5.3.1. B-134-1

a) *Sentido Barcelona*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
100	3	4896	10.8

Tabla 5.1 B-134-1 sentido Barcelona

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (29 al 34 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

b) *Sentido Lleida*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
100	3	4847	7.8

Tabla 5.2 B-134-1 sentido Lleida

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (29 al 34 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

5.3.2. B-219-2

a) *Sentido Lleida*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	4175	3.7

Tabla 5.3 B-219-2 sentido Lleida

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (28 al 36 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

b) *Sentido Barcelona*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	4328	2.2

Tabla 5.4 B-219-2 sentido Barcelona

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (29 al 36 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

5.3.3. B-225-1

a) *Sentido Mongat*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	3902	2.4

Tabla 5.5 B-225-1 sentido Mongat

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (24 al 36 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

b) *Sentido Trinitat*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	3152	8.3

Tabla 5.6 B-225-1 sentido Trinitat

No cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (15 al 38 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

5.3.4. E-76-0

a) *Sentido Lleida*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
100	4	4596	6.5

Tabla 5.7 E-76-0 sentido Lleida

Cumple al tener un porcentaje de pesados dentro de la zona de operatividad (3 al 29 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

b) *Sentido Barcelona*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
100	4	4310	5.4

Tabla 5.8 E-76-0 sentido Barcelona

Cumple al tener un porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad (3 al 29 %) marcada por la intensidad horaria marcada.

5.3.5. E-372-0

a) *Sentido Barcelona*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	4790	4.9

Tabla 5.9 E-372-0 sentido Barcelona

No cumple al tener una intensidad mayor a la del nivel de servicio entre D y E, esto supone una infraestructura cerca de la congestión, con la cual, sería difícil el movimiento de vehículos pesados entre carriles empeorando aún más el nivel de servicio.

b) *Sentido Lleida*:

Límite velocidad (km/h)	Número de carriles	Intensidad horaria (veh/h)	Porcentaje pesados (%)
80	3	4958	4.0

Tabla 5.10 E-372-0 sentido Lleida

No cumple al tener una intensidad mayor a la del nivel de servicio D, esto supone una infraestructura cerca de la congestión, con la cual, sería difícil el

movimiento de vehículos pesados entre carriles empeorando aún más el nivel de servicio.

5.4. Implantación del sistema con la intensidad horaria a lo largo del día

En este apartado se analizarán los mismos datos que en el apartado anterior pero, en vez de centrarnos en la intensidad horaria punta, analizaremos los datos de cada hora a lo largo de un día normal. De esta manera podremos observar cuantas horas entra en servicio el sistema a lo largo de un día sobre cada infraestructura real.

La estación de aforamiento estudiada ha sido la B-134-1 en sentido Barcelona.

Hora	Ligeros (veh/h)	Pesados (veh/h)	Total (veh/h)	Pesados (%)	Operatividad
0	458	87	545	16	No, buen nivel de servicio
1	282	83	366	23	No, buen nivel de servicio
2	204	79	282	28	No, buen nivel de servicio
3	260	94	353	27	No, buen nivel de servicio
4	486	131	622	21	No, buen nivel de servicio
5	1629	223	1848	12	No, buen nivel de servicio
6	2656	425	3080	14	Si
7	4363	530	4896	11	No, fuera de rango
8	4009	567	4575	12	No, fuera de rango
9	3247	693	3940	18	No, fuera de rango
10	2789	713	3504	20	Si
11	2905	718	3626	20	Si
12	2877	685	3561	19	Si

13	3175	575	3754	15	No, fuera de rango
14	3048	498	3542	14	No, fuera de rango
15	2861	536	3401	16	Si
16	2888	531	3414	16	Si
17	3556	490	4049	12	No, fuera de rango
18	3750	380	4126	9	No, fuera de rango
19	3203	277	3484	8	No, fuera de rango
20	2573	218	2798	8	No, buen nivel de servicio
21	2071	164	2240	7	No, buen nivel de servicio
22	1259	138	1399	10	No, buen nivel de servicio
23	663	98	757	13	No, buen nivel de servicio

Tabla 5.11 Intensidad horaria en el día B-134-1 sentido Barcelona

Como se observa en la tabla, este sistema estaría operativo 6 horas al día ya que, 10 horas se encontraría con un nivel de servicio de A o B y un total de 8 horas se encontraría con un nivel peor pero con el porcentaje de pesados fuera de la zona de operatividad del modelo.

Este sistema se podría implantar ya que cuando no se está utilizando la señalización para indicar las condiciones de uso del carril se pueden utilizar para otras funciones como aviso de peligros, información del tráfico más adelante, etc.

5.5. Resumen aplicación práctica

Pese a que el sistema no cumpla con los rangos de implantación en la mayoría de los casos mostrados, si se implantara en alguna de estas vías, podría llegar a operar ya que

los datos mostrados son una estimación para la hora punta de la vía, que es cuando esta tiene su peor nivel de servicio, lo cual reduce en gran ámbito el rango de juego con el porcentaje de vehículos pesados mientras, durante el resto del día, como se muestra en el apartado anterior, el nivel de servicio mejora permitiendo una mayor flexibilidad al sistema y su implantación.

6. OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL CARRIL

6.1. Señalización

Como propuesta para la señalización del carril se necesitaría una preseñalización con señales variables indicando las características de uso del carril en ese momento o una señalización permanente informando de la existencia de un carril con características especiales en las proximidades. Una vez llegado a la altura del carril sí que se necesitaría un cartel con señalización variable para no restringir el uso del carril estudiado a las características indicadas ya que aquí se ha presentado un carril dinámico que entraría en uso según las características del tráfico.

En cuanto a la señalización longitudinal se ha pensado en pilonas de plástico deformables (tubo de plástico de importante presencia con la que si colisiona un vehículo, esta se dobla sin causar desperfectos ni en el vehículo ni en la pilona, y una vez la haya sobrepasado el vehículo la pilona vuelve a su estado inicial) o piedras sobrepasables (elemento de menor presencia pero con un efecto por impacto menor).

6.2. Situación del carril

El modelo se implantará sobre el carril situado a la derecha o lado exterior de la vía. Se ha escogido esta configuración ya que al tomar los enlaces hay dos opciones: la primera es que pasen los vehículos ligeros a través del carril para vehículos pesados o que los vehículos pesados atraviesen los diferentes carriles reservados para los vehículos ligeros.

La segunda ha sido descartada ya que la maniobrabilidad de los vehículos pesados es menor que la de los ligeros, necesitarían atravesar un número mayor de carriles y porque los ligeros se pueden adaptar mejor al flujo de los vehículos pesados ya que, como hemos visto en capítulos anteriores, el porcentaje de pesados generalmente se encuentra cerca del límite inferior de la zona de operatividad y esto significa una menor densidad en el carril implantado y una mejor maniobrabilidad.

6.3 Características en los enlaces

En las cercanías a los enlaces se dejará de colocar las pilonas deformables o las piedras sobrepasables para facilitar el cambio de carril que serán sustituidas por una marca discontinua longitudinal en el suelo como si se tratara de un carril más pero siendo sonora (como la implantada en los laterales de autopistas y autovías) para evitar que los conductores se confíen de que es un carril normal y corriente.

7. CONCLUSIONES

7.1. Aportaciones

En el proceso de elaboración del presente estudio se han generado una serie de aportaciones al mundo de los carriles con alguna característica diferente a los carriles tipos sin limitaciones ni características extraordinarias. La primera ha sido la recopilación de todas las alternativas y variantes posibles para este tipo de carril mostradas en el capítulo 3 del *Estado del art*e y sus características.

También se ha desarrollado la metodología empleada para el análisis de carriles especializados dinámicos según diferentes parámetros y para diferentes situaciones como es la realidad en las carreteras de hoy en día. En la bibliografía consultada también se muestra la procedencia de los rangos escogidos para la definición de los niveles de servicio como de otros parámetros necesarios para el desarrollo del modelo.

También se ha recopilado los datos procedentes de las estaciones de aforo en los alrededores de Barcelona para hacer un diseño del modelo más realista y próximo a las necesidades del tráfico actual. A parte de utilizar como velocidades en el proyecto las marcadas por el mapa de velocidades de la Generalitat instalado en las carreteras de acceso a la ciudad.

7.2. Conclusiones

La primera conclusión que se puede sacar de este estudio es que el parámetro principal para la implantación de este modelo es el número de carriles de la vía. La intensidad horaria de la vía y el porcentaje de vehículos pesados son los parámetros secundarios con un gran peso en el modelo y por último el término de la velocidad que acaba de marcar el rango de operatividad del sistema pero sin hacer grandes modificaciones. A continuación se muestran las tablas con los rangos de operatividad según las diferentes características definidas.

Zonas de operatividad (%) 80 km/h		**Número de carriles**			
		2	3	4	5
Nivel de servicio	B/C	35 a 50	5 a 40	0 a 31	0 a 25
	C/D	45 a 50	20 a 37	0 a 29	0 a 23
	D/E	50 a 50	33 a 35	15 a 27	10 a 21

Tabla 7.1 Zona de operatividad a 80 km/h

Zonas de operatividad (%) 100 km/h		**Número de carriles**			
		2	3	4	5
Nivel de servicio	B/C	38 a 50	10 a 40	0 a 30	0 a 24
	C/D	48 a 50	25 a 35	13 a 27	8 a 22
	D/E	50 a 50	33 a 33	20 a 20	14 a 20

Tabla 7.2 Zona de operatividad a 100 km/h

Como se observa en las tablas, los rangos de operatividad para las vías con 2 o 3 carriles son muy poco flexibles, lo cual va aumentando con infraestructuras con un mayor número de carriles aunque el rango superior de la zona de operatividad descienda, este es un efecto insignificante ya que el máximo porcentaje de vehículos pesados se encuentra alrededor del 20 % que es justamente el valor mínimo de este límite, además, hay que añadir que pocas infraestructuras llegan a este 20 % y si llegan es en momentos puntuales.

También hay que ser crítico con el sistema al mostrar unas zonas de operatividad en algunos momentos fuera de los valores típicos del porcentaje de vehículos pesados en las carreteras, lo cual implicaría pensar en el sistema para vías que por circunstancias incluyeran un volumen elevado de vehículos pesados (conexión de zonas industriales o accesos a ciudades importantes basadas principalmente en el autobús como transporte colectivo).

También se observa en las tablas que a menor velocidad se crean unas zonas de operatividad mayor, esto es una muestra de la implantación de los mapas de velocidad

en las entradas a Barcelona para evitar el efecto onda, que trata de evitar la congestión de la vía circulando a una velocidad menor.

Al ser un carril flexible y dinámico, el sistema de señalización se podría utilizar para otro tipo de señalización como la utilización del carril para otro tipo de usuarios que no fueran los vehículos pesados, emergencias, información del tráfico, posibles peligros en la vía, etc.

Con este estudio también se intenta el fomento del transporte público ya que, al haber generalmente porcentaje de pesados cercanos a los límites inferiores de las zonas de operatividad, esto implica una ligera mejora del servicio en el carril de los vehículos pesados frente al transporte privado que aumentaría su densidad en la vía sin llegar a cambiar su nivel de servicio. También se puede decir que se fomenta el transporte privado de mercancías, pero este tipo de transportes no se le da un punto de vista tan negativo al ser necesario para el desarrollo de la ciudad sin el cual fallaría su actividad comercial, económica, social, etc.

Y por último, con la implantación de este modelo se llega a una especie de doble especialización separando los vehículos pesados del resto ya que son los que tienen unas diferencias mecánicas más notables con el resto. Esto permite una homogeneidad en los carriles que permite un tráfico con menos interferencias, lo que significa unas carreteras más seguras y cómodas para los conductores.

8. REFERENCIAS

8.1.Bibliográficas

1. **Transportation Research Board. 2000.** *Highway Capacity Manual*
2. **Simon Cohen. 2012.** *Exante and expost assessment of a traffic operation: the taxi bus lane on the northern A1 motorway*
3. **Ayuntamiento de Madrid. 2011.** *Proyecto Autobús del Futuro*
4. **ATM. 2011.** *Estudi de dimensionament i disseny de carrils bus en carreteres i accessos a ciutats intermèdies de l'RMB*
5. **Carlos Cristóbal Pinto. 2006.** *El sistema de autobuses rápidos: El caso de Madrid*
6. **Carme Fàbregas. 2006.** *Innovacions conceptuals en la gestió d'un SAE unificat*
7. **Graham Currie. 2006.** *Sistema de transporte rápido con autobuses en Australia*
8. **Paddy Doherty. 2006.** *Exploiting the potential of quality bus corridor's*
9. **Juan Carlos Muñoz. 2006.** *Búsqueda de la eficencia en el sistema de transporte público de Santiago*
10. **Sten Sedin. 2006.** *Efficient bus system*
11. **Oscar Sbert Lozano. 2006.** *Els nous combustibles*
12. **TMB. 2006.** *Futur de la mobilitat*
13. **S J Graham. 2006.** *First in Leeds*
14. **John Bonsall. 2006.** *Bus Rapid Transit (Canadian)*
15. **Joan Josep Escobar. 2006.** *Eficiencia energética i nous combustibles en el transport*
16. **Julio Pozueta Echavarri. 1996.** *Experiencia española en carriles de alta ocupación. La calzada bus/VAO en la N-VI: balance de un año de funcionamiento*
17. **Texas Transportation Institute. 2001.** *Bus rapid transit. Shows promise*
18. **Ajuntament de Barcelona. 2004.** *Control de la disciplina viària al carril bus*
19. **Pau Noy Serrano. 2007.** *Transport públic de superficie a Barcelona: renovar-se o morir*
20. **David Levinson.** *Highway Capacity and Level of service*
21. **Ministerio de fomento. 2012.** *Mapa de tráfico 2011*

8.1.Informáticas

Generalitat de Catalunya	www.gencat.cat
Dirección General de tráfico	www.dgt.es
Ministerio de fomento	www.mfom.es
Promoció del transport públic	www.transportpublic.org
Xarxa MOBAL	www.xarxamobal.diba.cat
Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona	www.atm.cat
Union Internationale des Transports Publics	www.uitp.com
Ayuntamiento de Madrid	www.madrid.org
Diputació de Barcelona	www.diba.cat
Ajuntament de Barcelona	www.bcn.cat
Wikivia	www.wikivia.org
SISTEM	www.sistemsa.es
Siemens	www.industry.siemens.com
Swarco	www.swarco.com