

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCION.....	5
2. CONSECUCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE DE COSTOS DE USUARIOS Y MODELOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	7
2.1 CODIFICACIÓN DE BIBLIOGRAFÍA Y BASE DE DATOS.....	8
3. DATOS DE ENTRADA PARA LAS ECUACIONES DEL MODELO DE HDM-4.....	10
3.1 ANTECEDENTES.....	10
3.2 SELECCIÓN DE TIPOS DE VEHÍCULOS DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA.....	11
3.2.1 Características y estadísticas de la flota vehicular Bogotana.....	11
3.2.2 Selección y clasificación de los vehículos.....	17
3.2.3 Selección De Los Vehículos Típicos Para Aplicación De Modelos.....	22
3.3 DEFINICIÓN DE DATOS DE ENTRADA DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA PARA EL HDM-4. (ATRIBUTOS GENERALES).....	23
3.3.1 Atributos: Definiciones.....	23
3.3.2 Atributos: Características básicas.....	24
3.3.3 Atributos: Costos Unitarios Económicos (Economic unit costs).....	26
3.4 DATOS DE ENTRADA DE CALIBRACIÓN EN EL HDM-4.....	27
3.5 BASE DE DATOS DE DATOS DE ENTRADA AL MODELO HDM-4.....	28
4. ADAPTACION DE LOS MODELOS PARA LAS CONDICIONES DE BOGOTÁ.....	29
4.1.1 Características de la vía.....	29
4.2 HERRAMIENTA RUC – BOGOTÁ PARA DETERMINACIÓN DE COSTOS DE USUARIOS.....	33
4.2.1 Parámetros de Entrada del Modelo.....	34
4.2.2 Resultados del Modelo.....	41
5. CALIBRACIÓN DE MODELOS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ.....	48
5.1 CALIBRACIÓN MODELO FLUJO - VELOCIDAD.....	48
5.1.1 Períodos de toma de información.....	49
5.1.2 Calibración a partir de información de campo: Modelo Matemático – HDM – 4.....	51
5.2 VALORES RECOMENDADOS A INGRESAR EN LA HERRAMIENTA.....	52
5.2.1 Patrón Flujo de Tráfico.....	52
6. ESTIMACION DE COSTOS DE USUARIOS DE ACUERDO A LA ADAPTACION DEL MODELO UTILIZADO.....	58

7.	REALIZACIÓN DE LOS TERMINOS DE REFERENCIA PARA LA CONTRATACIÓN DEL DESARROLLO DEL MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	60
7.1	COSTOS Y BENEFICIOS.....	61
7.1.1	Costos en que incurre la administración vial.....	62
7.1.2	Costos de los usuarios de la vías.....	62
7.1.3	Efectos medioambientales.....	63
7.1.4	Beneficios económicos netos anuales	63
7.2	ANÁLISIS ECONÓMICO	63
7.3	OPTIMIZACIÓN	64
7.3.1	Enumeración Total	64
7.3.2	Relación Costo/Beneficio incremental.....	64
8.	MODULO DE FORMULACION DINAMICA DENTRO DEL SISTEMA DE GESTION VIAL Y ESPACIO PÚBLICO.....	65
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Vehículo típico para cada tipo de la flota vehicular bogotana	22
Tabla 2. Horario toma de información.....	50
Tabla 3 Patrones de flujo de tráfico para 10 corredores	54
Tabla 4. Valor promedio de patrón de flujo de tráfico	55
TABLA 5 Valores recomendados de tráfico anual en cada período	55
Tabla 6 Resultados parámetros tipo de velocidad de tráfico 10 corredores.....	56
Tabla 7 Valores recomendados de los parámetros de tipo de velocidad de tráfico	56
Tabla 8 ajuste factor de velocidad de operación debido a congestión y semaforización.....	57
Tabla 9 Valores recomendados factor de ajuste de velocidad de operación	57
Tabla 10 Impacto de los componentes de los Costos de Usuarios.....	59
Tabla 11 Calendario Fase de Inicio – Iteración 1.	67
Tabla 12 Calendario Fase de Elaboración – Iteración 1.....	68

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Distribución flota vehicular bogotana. Corte 31 de Enero de 2010.....	13
Figura 2 Parque automotor por edad con corte 31 de Enero de 2010.....	14
Figura 3 Distribución porcentual de vehículos matriculados en Bogotá.....	15
Figura 4 Distribución vehicular por tipo de combustible.....	16
Figura 5. Composición de la red buses en troncales de transmilenio	16
Figura 6 Clasificación vehicular Parque automotor de Bogotá D.C.	21
Figura 7 Datos de Entrada – Características de la Vía	30
Figura 8 Interfaz principal de herramienta RUC – Bogotá	33
Figura 9 Datos de Flota Vehicular e Información del País	35
Figura 10 Datos de Calibración de la Flota Vehicular	36
Figura 11 Características de la Vía.....	39
Figura 12 Parámetros de Sensibilidad (Rugosidad – Velocidad Límite – Tráfico).....	40
Figura 13 Características de la Red Vial.....	40
Figura 14 Datos de análisis Costo - Beneficio.....	41
Figura 15 Resultados de Costos de Usuario.....	41
Figura 16 Recursos y Desempeño en cálculo de Costos de Usuario	42
Figura 17 Resultados de emisiones	43

Figura 18 Resultados de Análisis de Sensibilidad en la Rugosidad	43
Figura 19 Resultados de Análisis de Sensibilidad en la Velocidad Límite	44
Figura 20 Cálculo de Coeficientes de RONET	44
Figura 21 Resultados de Análisis de Sensibilidad en el Tráfico	45
Figura 22 Gráficos de Costos de Usuario para un tipo de vehículo.....	46
Figura 23 Gráficos de Costos de Usuario para todos los vehículos.....	46
Figura 24 Costos de Usuario en una red vial	47
Figura 25 Resultados de análisis Costo – Beneficio en alternativas de proyecto	47
Figura 26 Modelo Flujo Velocidad del HDM-4	49
Figura 27 Distribución horaria de la frecuencia de flujo – HDM-4.....	50
Figura 5.28 Gráfica corredor 3	51
Figura 29 Gráfica del modelo logarítmico y del modelo HDM para el Corredor Av. 19	51
Figura 30 Diagrama flujo velocidad HDM para el corredor Autopista Norte	52
Figura 31 Fases de modelamiento RUP identificados.....	66

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Listado Base de datos Bibliografía de consulta

Anexo 2. Listado base de datos, Datos de entrada de la flota vehicular y parámetros de calibración por defecto para RUC.

Anexo 3. Listado parámetros recomendados para la ciudad de Bogotá para ingresar en la “Característica de la vía”.

Anexo 4 Herramienta RUC-Bogotá presentada con datos en pesos colombianos y dólares americanos expresadas como costos financieros y costos económicos

Anexo 5. Resultados Costos de Usuario 10 corredores viales

1. INTRODUCCION

En el marco del desarrollo del contrato de Consultoría No. IDU-BM-112 de 2009, celebrado el pasado 29 de diciembre de 2009 entre el IDU y TNM LIMITED y con acta de inicio el 17 de febrero de 2010, se ha iniciado el proceso No. 10 que hace parte de la segunda etapa, correspondiente al documento maestro final.

Como producto de este proceso, se han recopilado todos los informes entregados a lo largo del contrato para agruparlos en un solo documento que resuma toda la consultoría, los cuales se enumeran a continuación:

- Información recopilada y análisis: El capítulo 2 del presente informe presenta un análisis de todos los documentos recopilados durante el proyecto y su aplicabilidad en distintas etapas del mismo
- Datos de entrada para ecuaciones del modelo HDM-4: El capítulo 3 presenta la metodología y procedimiento empleado para la definición de los datos de entrada de la flota vehicular, por tipo de vehículos, incluyendo una base de datos que resume la información requerida como dato de entrada.
- Estudio y adaptación del modelo HDM- para ser utilizado en áreas urbanas: El capítulo 4 presenta el procedimiento realizado para el estudio y adaptación del modelo de Efectos de los usuarios del HDM-4 ajustado a las condiciones de la ciudad de Bogotá.
- Calibración de modelos: El capítulo 5 presenta los cálculos de velocidades de los vehículos, los resultados de los corredores de prueba definidos, el comportamiento de las velocidades en función del estado de la vía; de igual manera presenta la calibración de los modelos flujo-velocidad y velocidad-rugosidad y los parámetros que registren la velocidad deseada de circulación correspondientes a fricción lateral de la vía (obstáculos) y del factor de cumplimiento del límite de velocidad.
- Estimación de costos de usuarios de acuerdo a la adaptación del modelo realizado: Este capítulo 6 presenta el cálculo de costos de usuarios para cada uno de los corredores analizados (30 corredores con información secundaria, 15 corredores de

calibración velocidad-rugosidad y 10 corredores de calibración del modelo flujo-velocidad) y los resultados finales del costo del usuario, obtenido de la sumatoria de los costos de operación vehicular (VOC) y el tiempo de viaje.

- Proyecto de términos de referencia para el desarrollo del modelo de evaluación económica con el cual el Instituto obtenga la mejor alternativa de inversión y la estimación del presupuesto requerido para su construcción.
- Módulo de formulación dinámica dentro del Sistema de Gestión Vial y Espacio Público: El capítulo 8 presenta toda la formulación dinámica requerida desde la especificación del negocio (visión y glosario), modelos de casos de uso con especificaciones, actores, diagramas, modelo interno de negocio incluyendo modelos de objetos del negocio y realización de casos de uso, informe de evaluación, y planes de implementación y de prueba.

Finalmente el capítulo 9 presenta las recomendaciones y conclusiones para posteriores etapas del proyecto.

El presente informe ejecutivo contiene un resumen general de la Consultoría Evaluación de Costos de usuarios de acuerdo a las intervenciones que realiza el instituto en Bogotá D.C. y presenta en detalle los datos de entrada de la flota vehicular definidos para la ciudad de Bogotá, la herramienta RUC-Bogotá adaptada a las condiciones locales y los valores recomendados por defecto para Bogotá D.C.

2. CONSECUCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE DE COSTOS DE USUARIOS Y MODELOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.

Como punto de partida para el desarrollo de la presente Consultoría se investigó y recopiló la información existente en el ámbito internacional relacionada con los costos de usuarios y modelos de evaluación económica de proyectos de infraestructura vial. La bibliografía inicial que se tuvo en cuenta, siguiendo los requerimientos del IDU es la siguiente:

- Modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras (Highway Design and Maintenance Standards Model) HDM-4.
- Gestión de infraestructura vial. Hernán de Solminihaç T.
- The Highway Design and Maintenance Standards Model – Volume 4 y 5. The World Bank, John Hopkins University Press. Watanatada T. Harral C.G. Paterson W.D.O., Dhareshwar A.M., Bhandari A., ad Tsunokawa K. (1987).
- Estado superficial y costos de operación de carreteras. José Antonio Arroyo Osorno. Roberto Aguerrebe Salido. Publicación Técnica No. 202. Instituto Mexicano del Transporte 2002.
- Guidelines for calculating vehicle operating costs – VOC for Urban conditions. Gideon Hashimshony. 1991.
- Diseño técnico, legal y financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C.
- Informe Final contrato 061 de 2004. Análisis, diseño, construcción e implementación de un sistema de gestión vial y de espacio público para Bogotá D.C.
- Actualización matriz de viajes de transporte público y actualización de modelo. Contrato 153 de 2006. Secretaría de Movilidad.

El Consultor investigó bibliografía adicional a los requerimientos mínimos de la Entidad. Toda la bibliografía encontrada fue analizada y se evaluó su aplicabilidad para la evaluación de costos de usuarios en la ciudad de Bogotá. El resumen de cada documento analizado se encuentra en el informe final a manera de Documento Maestro.

De igual manera, toda la información recopilada se consolidó en una base de datos en formato Excel, codificada por área de especialidad y con hipervínculo para facilitar su búsqueda en medio magnético, (ver Anexo 1).

2.1 CODIFICACIÓN DE BIBLIOGRAFÍA Y BASE DE DATOS.

Se realizó la recopilación existente en el ámbito internacional relacionada con la evaluación de costos de usuarios y modelo de evaluación económica. La bibliografía seleccionada se recopiló y clasificó en 4 grupos, de la siguiente manera:

1. **MODELOS - MOD:** Documento referente a los modelos de evaluación económica y costos de usuario
2. **TRANSPORTE - TTE:** Documento referente al tema de tránsito y transporte
3. **MECÁNICA - MEC:** Documento referente al componente de Ing. Mecánica de los modelos
4. **SISTEMAS - SIS:** Documento referente a Sistemas (software) relacionados

Siguiendo este mismo contexto, se codificaron los documentos de la siguiente manera:

DDD-0000-00

Donde:

DDD Tres caracteres para indicar el tema general del documento, como se ha explicado anteriormente (MOD, TTE, MEC, SIS)

0000 Numero secuencial único

-0 Debe utilizarse si el documento tiene anexos que hacen parte del mismo documento, si hay varias versiones del mismo documento, etc.

Todos los documentos se reunieron en una base de datos en Excel, la cual tiene los siguientes campos para describir el documento:

1. Número
2. Código
3. Título
4. Autor
5. Fecha
6. Edición / Versión
7. Editorial
8. No. De Contrato (que dio origen al documento, si aplica)
9. Lugar de Publicación
10. Resumen del contenido.
11. Forma de presentación (física o magnética o ambas).

12. [Hipervínculo para acceder a la bibliografía.](#)

3. DATOS DE ENTRADA PARA LAS ECUACIONES DEL MODELO DE HDM-4

3.1 ANTECEDENTES

El modelo “Efectos para los Usuarios” (RUE) del HDM-4 permite determinar los efectos de la operación vehicular (VOC), los efectos de emisiones y seguridad y el tiempo empleado por los usuarios; los costos para los usuarios se obtienen a partir de los resultados del RUE, al cual se le asignan valores monetarios.

Como el modelo RUE HDM es la base del estudio, fue necesario realizar un estudio detallado de los modelos que se encuentran incluidos dentro del RUE, iniciando con la definición de los datos básicos de entrada que el modelo tiene por defecto (ajustados a condiciones de Estados Unidos).

Se identificó que el modelo RUE cuenta con dos grupos principales de parámetros de datos de entrada:

- Características de la vía: Estos parámetros hacen parte de la vía o corredor de análisis, entre ellos se destacan características geométricas (ancho, subidas y bajadas, pendiente, número de carriles, etc.), características del tránsito (TPD por tipo de vehículo definido en el HDM-4, 5 períodos de flujo vehicular, capacidad máxima, capacidad nominal, efectos de tránsito no motorizado, efectos de obstáculos en la vía, etc.) y características de velocidad (velocidad de embotellamiento, efectos de límite de velocidad, efectos de ruido de aceleración, etc.)
- Características de la flota vehicular y calibración de la flota vehicular: Estos parámetros se refieren a la clasificación de la flota vehicular del país, región o ciudad evaluada y la definición de parámetros como costos de vehículo nuevo, combustible, partes, mantenimiento, gastos administrativos, kilómetros recorridos, horas trabajadas, vida útil del vehículo, peso operativo, factores de regresión por tipo de vehículo relacionados con las restricciones por velocidad, etc.

Como punto de partida se recopiló y analizó información de la flota vehicular de la ciudad de Bogotá, normatividad aplicable, características principales y en conjunto con el Instituto se definieron los tipos de vehículos a ser analizados.

Con la flota vehicular definida, se estableció el vehículo tipo característico de cada grupo a partir de la información de carros más vendidos en la ciudad. Con esta información se procedió a definir las características de la flota vehicular bogotana y los datos de entrada de la calibración de la misma.

Posteriormente, en conjunto con el IDU, se definieron los corredores a ser incluidos en el estudio de manera tal que abarcaran diferentes tipos de vías en la ciudad, estableciendo parámetros de agrupación: tipo de calzada, tipo de vía, presencia de intersecciones, importancia de la vía, etc. De cada corredor se recopiló la información básica de características geométricas, TPD y velocidades disponibles en estudios previos desarrollados por diferentes entidades distritales y se almacenó en una base de datos.

3.2 SELECCIÓN DE TIPOS DE VEHÍCULOS DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA

Para la definición de los datos de entrada para la aplicación de las ecuaciones del modelo HDM-4, se realizó el análisis de la flota vehicular de la ciudad de Bogotá, se definieron cuantos tipos de vehículos se utilizarán y los niveles jerárquicos aplicables.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS Y ESTADÍSTICAS DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA

La caracterización de la flota vehicular bogotana hace parte fundamental de la definición de los diferentes tipos de vehículos que se van a analizar en las ecuaciones del modelo HDM-4. Con el fin de llevar a cabo esta caracterización, se recopiló y analizó información obtenida de diferentes fuentes como:

- ❖ Secretaria de Movilidad: información de vehículos registrados en la ciudad de Bogotá por tipo de combustible y por tipo de vehículo.
- ❖ Revista Motor: Publicación especializada en el país la cual presenta información sobre carros, buses y otros vehículos que se encuentran en el mercado nacional.
- ❖ Ministerio de Industria y Comercio: Ventas de motocicletas en el año 2009.
- ❖ Asopartes: Asociación del sector automotriz y sus partes en la ciudad de Bogotá. Información correspondiente a ventas de vehículos nuevos en el año 2009.
- ❖ Fabricantes y/o ensambladores de marcas reconocidas como Chevrolet, Renault, Izuzu: información sobre especificaciones de diferentes tipos de vehículos.

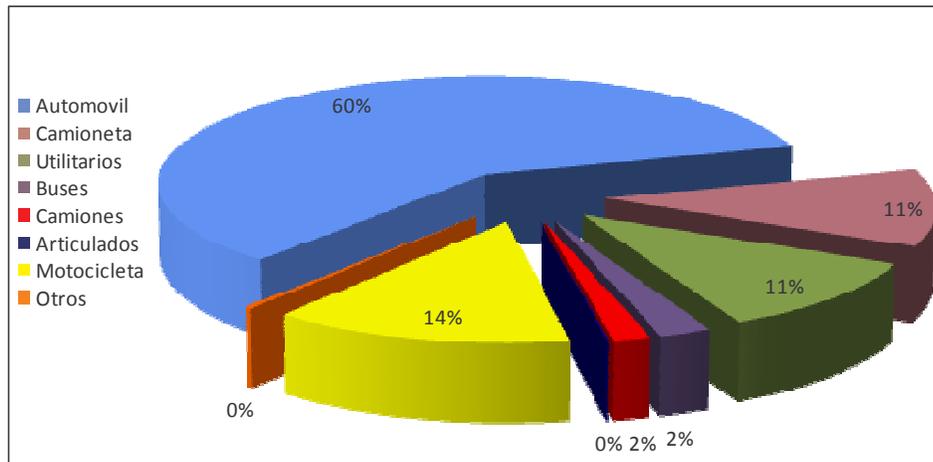
Con base en los registros suministrados por la Secretaría de Movilidad y presentados anteriormente, el Parque automotor distrital de la ciudad de Bogotá se encuentra conformado por los siguientes tipos de vehículos motorizados y no motorizados:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| ✓ Automóvil | ✓ Maquinaria Industrial, |
| ✓ Bus | ✓ Microbús Mototriciclo, |
| ✓ Buseta | ✓ Cuatriciclo |
| ✓ Camión | ✓ Cuatrimoto |
| ✓ Camioneta | ✓ Minivan |
| ✓ Campero | ✓ Ciclomoto |
| ✓ Bus articulado | ✓ Motoneta |
| ✓ Bus biarticulado | ✓ Motocarro, |
| ✓ Tracto camión | ✓ Doble troque |
| ✓ Mini tractor | ✓ Minibús |
| ✓ Motocicleta | ✓ Trolebús |
| ✓ Tracción animal | ✓ Volqueta doble troque |
| ✓ Maquinaria agrícola | ✓ Sin información en carpeta |

Para efectos de determinar el porcentaje de vehículos registrados en Bogotá, se realizaron agrupaciones de acuerdo a las características generales de los vehículos y a las definiciones de la norma NTC 4788 de 2004 para los diferentes tipos de vehículos, la cual se presenta a continuación:

- ➔ Buses: Conformado por minibús, microbús, bus y buseta
- ➔ Camiones: tracto-camión, camión, doble troque y volqueta doble troque.
- ➔ Articulados: conformado por buses articulados y biarticulados
- ➔ Motocicletas: conformado por motocicleta, ciclomoto, motoneta y motocarro.
- ➔ Otros: minitractor, tracción animal, maquinaria agrícola, maquinaria industrial, mototriciclo, cuatriciclo, cuatrimoto, trolebús y vehículos "sin información en carpeta".

Figura 1 Distribución flota vehicular bogotana. Corte 31 de Enero de 2010

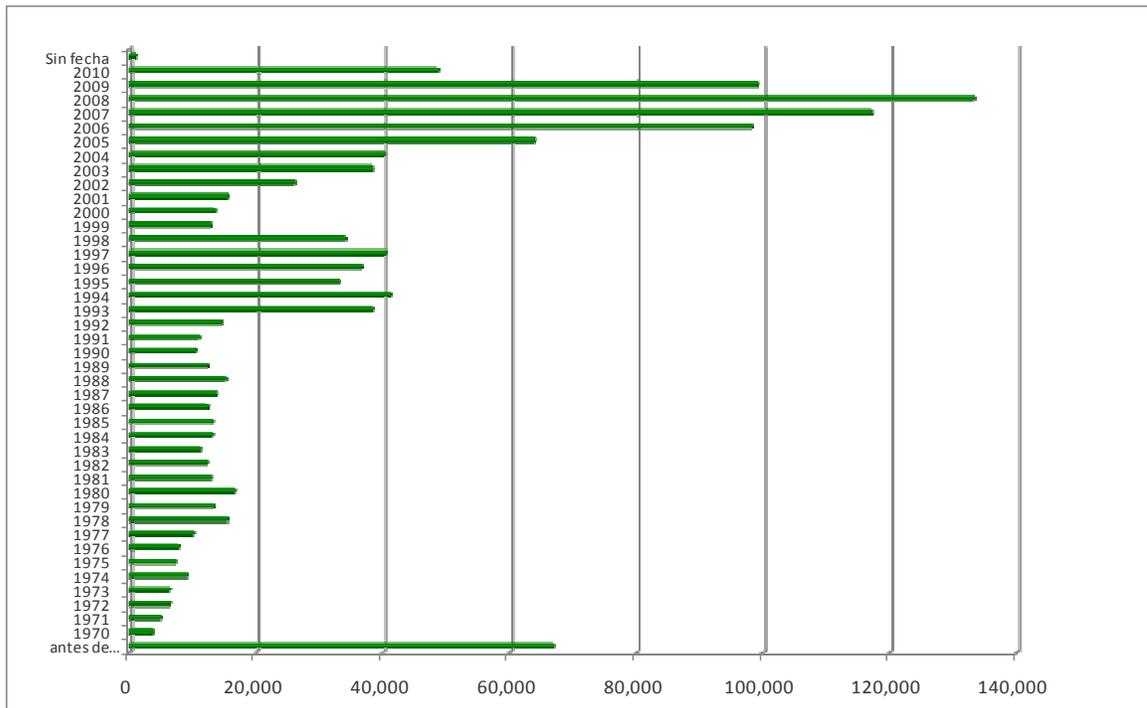


Fuente: Secretaría de Movilidad – Enero de 2010.

De acuerdo a esta gráfica, en la ciudad de Bogotá se encuentran matriculados 1.263.836 vehículos, donde cerca del 60% de estos vehículos corresponden al tipo automóvil, seguido por el 11% de vehículos tipo utilitarios, 11% a camionetas y 14% a motocicletas conformando el 96% de dichos vehículos. El 4% restante se encuentra dividido entre buses, camiones, articulados y otros tipos de vehículos no contemplados.

De la misma tabla, se organizó el parque automotor por edades desde 1970 hasta 2010 y se realizó una gráfica de la distribución de vehículos por año (ver siguiente figura) en donde se observa un incremento en los vehículos registrados en los años 2006, 2007, 2008 y 2009.

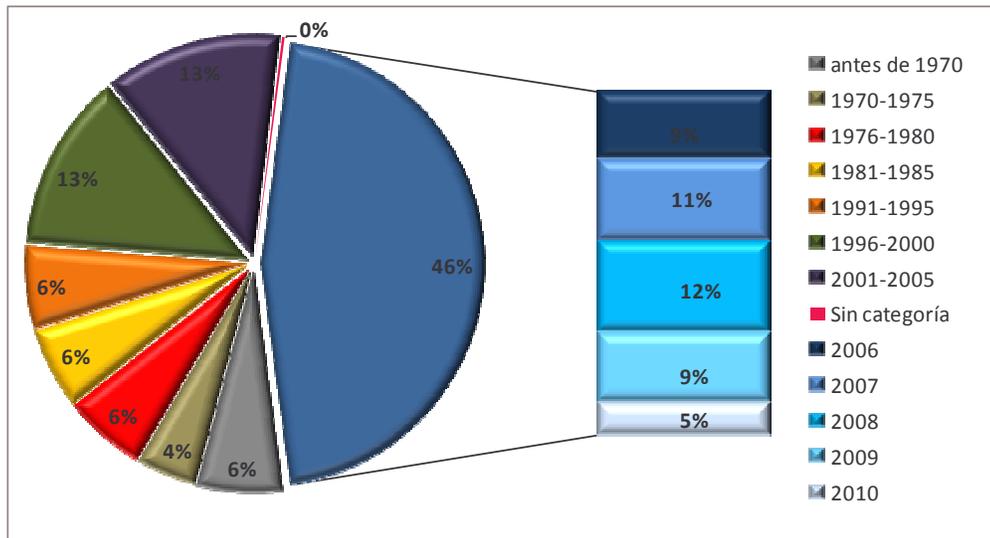
Figura 2 Parque automotor por edad con corte 31 de Enero de 2010



Fuente: Secretaria de Movilidad – Enero de 2010.

Así mismo, se observó un comportamiento constante en la edad de la flota vehicular para vehículos del año 1970 al año 2005 con un leve incremento durante los años 1995 a 1999; debido a esta tendencia se agruparon las edades de los vehículos en períodos de 5 años con el fin de determinar los porcentajes de edad de los vehículos que se encuentran matriculados en la ciudad; detallando los últimos años donde la flota vehicular presentó un gran crecimiento. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta, expresada en porcentaje, los rangos de las edades de la flota vehicular Bogotana.

Figura 3 Distribución porcentual de vehículos matriculados en Bogotá



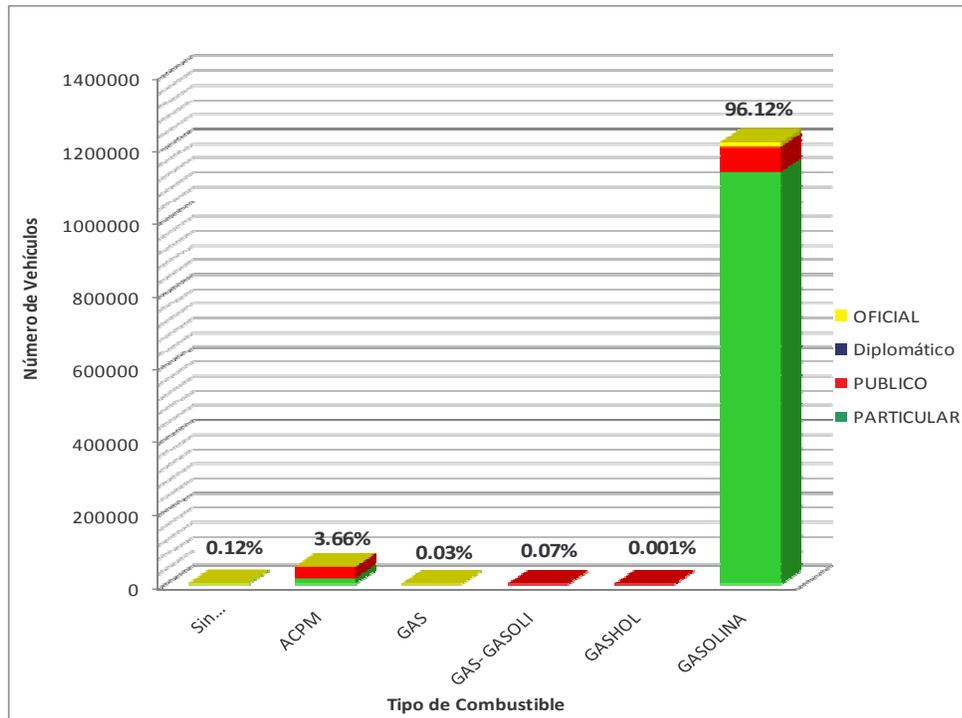
Fuente: Secretaria de Movilidad – Enero de 2010.

De la figura anterior se aprecia que el 46% de los vehículos registrados en Bogotá son del período año 2006 – 2010, con un mayor registro durante el año 2008 (12% del total). Se aprecia casi la mitad de la flota vehicular tiene 5 años o menos, lo cual indica que es una flota relativamente nueva.

La figura 3.9 presenta la distribución vehicular por tipo de combustible, donde se analiza que el 96% de los vehículos utilizan gasolina como combustible; el siguiente combustible en uso es el ACPM empleado principalmente por automotores de servicio público. Usualmente, los vehículos que utilizan ACPM operan mediante motores tipo diesel, los cuales tienen altas cilindradas y mayores requerimientos de potencia, por lo que se utilizan para transportar carga o pasajeros.

Se analiza también que el parque automotor utiliza principalmente gasolina como combustible especialmente los vehículos de uso particular, un pequeño porcentaje utiliza combustible tipo ACPM especialmente aquellos de uso público mientras que aún la presencia de gas, gas-gasolina, gashol no son representativos de la flota vehicular registrada en Bogotá.

Figura 4 Distribución vehicular por tipo de combustible



Para el sistema de Transporte Masivo de la ciudad de Bogotá se encontró que está compuesto por una red de estaciones de 84 kilómetros de vías troncales y 551 kilómetros de rutas de alimentación, con una flota compuesta por buses articulados, biarticulados y alimentadores, los cuales presentan una distribución de 1127 buses articulados (99.5% del total de la flota) y 6 buses biarticulados (0.5% del total de la flota), indicativo que el vehículo típico de este sistema es el articulado.

Figura 5. Composición de la red buses en troncales de transmilenio



Fuente: Transmilenio – www.transmilenio.gov.co

3.2.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

De las investigaciones realizadas de las principales fuentes mencionadas anteriormente se tiene que:

Vehículos Livianos

La Secretaría de Movilidad, en su registro actualizado a Enero de 2010 y la revista Motor No. 502 permitió determinar lo siguiente:

- ✓ La flota vehicular registrada en Bogotá cuenta con que 60% son automóviles, 11% son utilitarios, 11% a camionetas y 14% a motocicletas, conformando el 96% de la totalidad de vehículos.
- ✓ Dentro del 60% de automóviles, se encuentran vehículos tipo taxi que deben ser analizados por separado debido al comportamiento que presentan en el tráfico.
- ✓ Las motocicletas representan un gran porcentaje dentro del total de la flota vehicular bogotana.
- ✓ La flota vehicular bogotana es relativamente nueva, cerca del 50% de la flota son modelos 2006 a 2010.
- ✓ La mayoría de los vehículos utilizan gasolina como combustibles (automóviles) mientras que los camiones y buses utilizan ACPM como combustible.
- ✓ Los automóviles más vendidos en Colombia son marca Chevrolet desde 1000 cm³ hasta 2000 cm³.
- ✓ Los utilitarios más vendidos en Colombia son marca Chevrolet.
- ✓ En el sistema de Gestión no hay discriminación para automóviles y las motocicletas no son tenidas en cuenta.
- ✓ De la información del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, se tiene que las principales marcas vendidas son Auteco y Honda.

Buses

La Secretaría de Movilidad, en su registro actualizado a Enero de 2010 el listado de propietarios de buses del Ministerio de Transporte y la información de buses de Transmilenio permitió determinar lo siguiente:

- ✓ Flota vehicular bogotana de buses está compuesta por buses, busetas, microbús, articulados y biarticulados. Este último escasamente se encuentran en la ciudad, con un total de 6 buses registrados en la ciudad.
- ✓ Corresponden solo al 2% del total de los vehículos registrados en la ciudad.

- ✓ El principal combustible empleado en los buses es ACPM. Buses articulados y biarticulados solamente utilizan ACPM (motor diesel para altas cilindradas).
- ✓ La flota de buses en Bogotá es relativamente nueva y cerca del 50% de esta flota corresponde a modelos de los años 2003, 2004 y 2005.
- ✓ La principal marca de buses, busetas y colectivas es Chevrolet.
- ✓ La principal marca de articulados y biarticulados es Volvo,
- ✓ El sistema de Gestión discrimina estos vehículos en buses, busetas, buses alimentadores.

Vehículos de Transporte de Carga (Camiones)

Para los vehículos de carga la resolución 4100 de 2004 y sus modificaciones, documentos del Ministerio de Transporte llamados "Parque automotor de Transporte de Carga en Colombia – año 2005" y "Diagnóstico del Transporte 2008" se determina que:

- ✓ Los diferentes vehículos para el transporte de carga deben cumplir las mismas dimensiones en ancho y altura.
- ✓ La dimensión altura máxima para la mayoría de las designaciones vehiculares es la misma con variaciones para los tipos C2, C3 y C4, destacando que C3 y C4 presentan igual altura máxima (12.2 m)
- ✓ Los valores máximos de peso bruto vehicular para cada designación vehiculares se pueden reunir en tres grandes grupos: camiones de 5 o más ejes, camiones de 3 y 4 ejes, camiones de 2 ejes.
- ✓ La distribución del parque automotor de carga por configuración de ejes presenta que a nivel nacional, la mayoría de los vehículos pesados son de 2 ejes, y en segundo lugar los articulados 3S mientras que la presencia de vehículos de 4 ejes es muy pequeña en comparación con las otras designaciones.
- ✓ El principal combustible empleado para vehículos de 2 ejes es la gasolina mientras que para los camiones articulados tipo 3S, el combustible es ACPM.
- ✓ La marca con mayor representación en todas las configuraciones de camiones es Chevrolet.
- ✓ Los camiones articulados 3S (C3S2, C3S3) movilizan el 71% de la carga mientras que configuración C4 presentan la menor movilización de carga.
- ✓ La flota vehicular que más transporta de carga tiene en promedio entre 15 y 20 años. (modelos 1991 – 1995).
- ✓ La revista Motor de la edición del mes de Enero de 2010, presenta que los camiones de mayor venta en el país durante el año 2009 son los Chevrolet NPR Chevrolet NHR, JAC y Chevrolet NKR.

El sistema de Gestión de Malla Vial, Espacio Público y puentes del Instituto de Desarrollo Urbano del IDU cuenta con la siguiente clasificación de camiones: C2P, C2G, C3, C4, C5 y C6.

3.2.2.1 Clasificación vehicular

A partir de la información recopilada y con las características principales detalladas anteriormente se seleccionan los siguientes tipos de vehículos:

- ➔ **Motos:** Se recomienda incluirla en el sistema de Gestión del IDU dado que tiene un porcentaje alto de participación en la flota vehicular registrada en Bogotá. Se tomó como representativo la moto Auteco Discover y Honda Boxer.
- ➔ **Taxis:** Vehículos hasta de 1300 cm³ de cilindrada con valores de potencia baja (70 HP), combustible gasolina y curvas de desempeño (potencia, revoluciones, torque) similares. Se tomó como representativo para este grupo el Chevrolet Spark. Cabe anotar que en el sistema de Gestión del IDU los automóviles no se encuentran desagregados y se contabilizan como un solo tipo de automóvil por lo que deben ser desagregado de acuerdo a la presenta clasificación recomendada.
- ➔ **Vehículos livianos particulares:** Vehículos de 1000 cm³ hasta 3000 cm³ de cilindradas, con valores de potencia que oscilan entre 70 HP y 150 HP. Inicialmente estaban divididos en dos grupos pero evaluando sus valores de potencia y curvas de desempeño (potencia, revoluciones, torque) del catálogo de especificaciones de vehículos típicos (Chevrolet Aveo y Chevrolet Optra) se determinó que su comportamiento es similar por lo que podían ser agrupados en un solo grupo. El combustible empleado es gasolina. Cabe anotar que en el sistema de Gestión del IDU los automóviles no se encuentran desagregados y se contabilizan como un solo tipo de automóvil, se recomienda desagregar entre taxis y vehículos particulares siguiendo requerimientos para la evaluación de costos de usuarios.
- ➔ **Utilitarios:** automóviles con cilindrada desde 2000 cm³, con tracción tipo 4x4 incluyendo camionetas doble cabina, las cuales debido a su tracción, su uso puede estar destinado a transporte de pasajeros y carga. Presentan curvas de desempeño similares, comparadas de acuerdo a las especificaciones técnicas de los vehículos más vendidos de este estilo (Chevrolet Vitara y Luv). El combustible empleado es gasolina. Este tipo de vehículo no se encuentra desagregado dentro del sistema de Gestión del IDU, sin embargo el HDM-4 presenta vehículos de similares características, por lo cual se recomienda su inclusión.
- ➔ **Bus pequeño:** De acuerdo a la definición del código de tránsito nacional (sección 2.2), un microbús es un vehículo para transporte de hasta 19 pasajeros. Se agrupan no solo

los microbuses sino los también llamados colectivos y minibuses. Su cilindraje varía entre 2700 y 3900 cm³. Se encuentra definido en el sistema de Gestión Vial como buseta y en el HDM-4 como autobús liviano de menos de 3.5 toneladas.

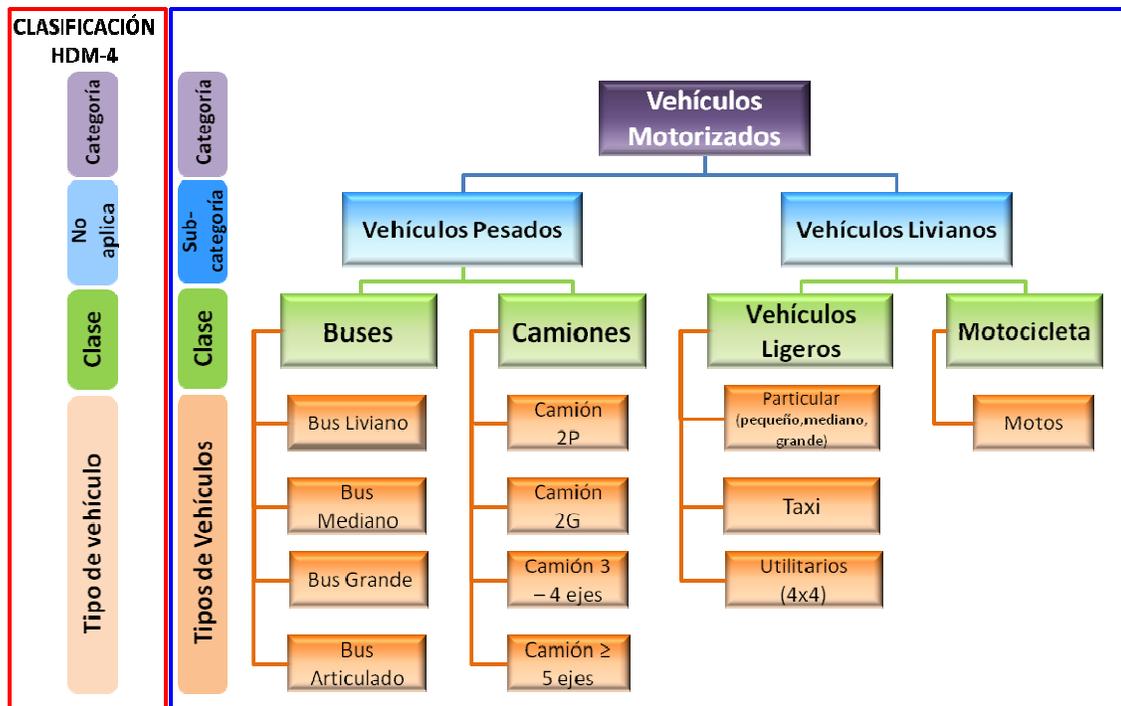
- **Bus mediano:** De acuerdo a la definición del código de tránsito nacional (sección 2.2) es un vehículo para transporte de 20 a 49 pasajeros. Para la evaluación de costos de usuario de acuerdo a las condiciones de Bogotá, la capacidad de estos buses se ha definido de 20 a 49 pasajeros. Se agrupan busetas y buses pequeños. El combustible empleado es ACPM. Se encuentra definido en el sistema de Gestión Vial como bus y en el HDM-4 como autobús mediano (de 3.5 a 8 toneladas).
- **Bus grande:** Se ha definido como vehículo para transporte entre 50 y 80 pasajeros. De acuerdo a las condiciones de Bogotá, la capacidad de estos buses puede llegar inclusive a 100 pasajeros como es el caso de los buses alimentadores de Transmilenio. El combustible empleado es ACPM. Se encuentra definido en el sistema de Gestión Vial como buses alimentadores y en el modelo HDM-4 como autobús pesado (de múltiples ejes o grande de dos ejes).
- **Camión pequeño de 2 ejes – 2P:** Este camión de acuerdo a la resolución 4100 de 2004 se define como un camión rígido pequeño de dos ejes menor a 3.5 toneladas. Este tipo de vehículo es el más común en los camiones de transporte de carga; debido a su tamaño tiene libre circulación en la ciudad. Se encuentra definido en el sistema de gestión vial de igual manera y en el modelo HDM-4 como camión liviano (rígido pequeño de dos ejes aprox < 3.5 ton).
- **Camión grande de 2 ejes – 2G:** Este camión de acuerdo a la resolución 4100 de 2004 se define como un camión rígido grande de dos ejes mayor a 3.5 toneladas. Este tipo de vehículo es el más común en los camiones de transporte de carga; debido a su tamaño tiene libre circulación en la ciudad. Se encuentra definido en el sistema de gestión vial de igual manera y en el modelo HDM-4 como camión liviano (rígido pequeño de dos ejes aprox > 3.5 ton).
- **Camión de 3 y 4 ejes:** Estos tipos de camiones se han definido en un mismo grupo teniendo en cuenta la escasa presencia de los camiones de 4 ejes en la ciudad y en el país (cifras del Ministerio de Transporte sección 2.4) y sus características similares definidas en la resolución 4100 de 2004. Así mismo, el efecto causado por estos ejes en el pavimento es muy similar, su tamaño es similar también por lo cual se recomienda que estén en el mismo grupo. En el sistema de gestión se encuentra dividido en C3 y C4, mientras que en el módulo de HDM-4 se encuentra clasificado como camión pesado (camión rígido de múltiples ejes). El combustible a emplear es ACPM.
- **Camión articulado de 5 o más ejes:** Este tipo de camiones se han definido en un mismo grupo debido a las dimensiones similares que deben tener (resolución 4100 de 2004),

las características similares que comparten y los daños que causan sobre el pavimento. De igual manera, se incluyen en el mismo grupo por la escasa presencia de estos camiones y las restricciones de flujo sobre varias zonas de la ciudad. Su combustible es ACPM. En el sistema de gestión se encuentra desagregado en C5 y C6, mientras que en el modelo HDM-4 se encuentra clasificado como camión articulado.

- ➔ **Buses articulados – Transmilenio:** Este tipo de bus es especialmente importado y ensamblado para suplir el sistema de transporte – Transmilenio. Se encuentra compuesto por buses de una articulación (articulados) y buses biarticulados. En la ciudad se encuentran registrados únicamente 6 buses biarticulados, los cuales no son representativos de la flota del sistema de Transmilenio por lo que se recomienda que se incluya dentro de este grupo como un modelo o tipo de este vehículo. El combustible que emplea es ACPM y han sido incluidos por recomendación del IDU y del Banco Mundial, debido a que hace parte de la malla vial de la ciudad y representa costos para los usuarios. En el sistema de gestión del IDU se encuentra clasificado como articulados mientras que en el HDM-4 no se encuentra definido.

Con base en toda esta información se realizó la clasificación de los vehículos (Figura 6).

Figura 6 Clasificación vehicular Parque automotor de Bogotá D.C.



3.2.3 SELECCIÓN DE LOS VEHÍCULOS TÍPICOS PARA APLICACIÓN DE MODELOS

Con el fin de aplicar los modelos de costos de usuario para la ciudad de Bogotá, se realizó un análisis minucioso de la información de referencia con el fin de elegir los vehículos representativos o típicos de cada clase vehicular definida en la sección anterior.

Los camiones se han ido especializando y tomando una serie de características propias del trabajo a realizar. En una evolución de una simple caja a la forma más adecuada a la materia a transportar; peligrosas, líquidas, refrigeradas, en continuo movimiento que impida el fraguado, abiertos, cerrados, con grúa etc.

Como dato de entrada, el combustible definido para los camiones es el ACPM (motor diesel); cabe anotar que para los camiones pequeño C2P y mediano C2 G, el fabricante define el combustible como ACPM, sin embargo para evaluar los camiones de estas categorías que emplean la gasolina como combustible, en el modelo HDM-4 se debe crear un nuevo grupo basados en estos dos vehículos tipo y en la definición de características se selecciona gasolina en lugar de diesel.

A continuación se presenta una tabla resumen con los vehículos tipos seleccionados para la aplicación de modelo:

Tabla 1 Vehículo típico para cada tipo de la flota vehicular bogotana

Clase	Tipo de Vehículo	Vehículo típico	Muestra	Breve Descripción
Motos	Motos	Boxer BM Classic (Auteco)		Vehículo de dos ruedas impulsado por un motor que acciona la rueda trasera. Transporta hasta dos personas.
		Bajaj Discover 135 (Auteco)		
Vehículos Livianos	Particular (pequeño, mediano, grande)	Chevrolet Aveo		Vehículo con cilindraje que varía entre 1400 c.c. a 3400 c.c.
	Taxi	Chevrolet Spark		Vehículo liviano tipo sedan de no mas de 1000 c.c. de cilindraje.

	Utilitarios	Chevrolet Grand Vitara		Vehículo usualmente de tracción 4x4 o 4x2 que cuenta con elementos del tipo todoterreno.
Vehículos pesados	Bus liviano	NKR Bus: ISUZU 4J81-TC		Vehículo de peso menor de 3.5 toneladas, empleado para el transporte de hasta 19 pasajeros.
	Bus mediano	ISUZU 6HE1		Vehículo para el transporte de 20 a 49 pasajeros.
	Bus grande	ISUZU 6WATTC		Vehículo para el transporte de entre 50 pasajeros y 80 pasajeros.
	Bus Articulado	Chasis Marca Volvo		Vehículo con una articulación para el transporte de hasta 160 pasajeros
	Camión Pequeño C2	ISUZU 4JB1-TC		Camión de 2 ejes pequeño tipo F-350
	Camión Grande C2	ISUZU 6HE1 – TC		Camión de 2 ejes grande tipo F-600 o F-900.
	Camión C3-C4	Camión Hino: J08C-TT		Camión de 3 o 4 ejes. Se incluyen camiones C1-S2, C3-S1, tractocamión C2-S1, C2-S2.
	Camión ≥ C5	KENWORTH T2000		Camión de 5 o más ejes, del tipo articulado. Se incluyen tracto camión C3-S2, C3-S3 y mas.

3.3 DEFINICIÓN DE DATOS DE ENTRADA DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA PARA EL HDM-4. (ATRIBUTOS GENERALES)

Para definir los datos de entrada de la flota vehicular Bogotana para las ecuaciones del modelo HDM-4, el Consultor analizó como mínimo los datos básicos para cada tipo de vehículo, los cuales se detallan a continuación:

3.3.1 ATRIBUTOS: DEFINICIONES.

Los atributos de la flota vehicular se encuentra compuesto por: nombre, tipo base, clase, categoría, descripción y el método de vida útil. El sistema de clasificación vehicular definido,

basado en el sistema HDM-4 emplea un alcance flexible en donde los vehículos motorizados se encuentran divididos en clases de vehículos. La clase comprende varios tipos de vehículos que pueden especificarse con base en vehículos tipo estándar.

3.3.2 ATRIBUTOS: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Las características básicas de cada vehículo se encuentran determinadas por características físicas, llantas, utilización y carga del vehículo principalmente.

3.3.2.1 Características Físicas (Physical)

Dentro de las características físicas de cada vehículo incluido dentro del análisis se incluyen la Equivalencia de espacio de pasajero por vehículo, número de llantas del vehículo y número de ejes. Para la ciudad de Bogotá, esta información fue definida con estudios previos de parámetros similares y con los valores por defectos recomendados por el HDM-4

- ➔ **Equivalente de espacio de carro de pasajeros (Passenger Car Space Equiv.):** El equivalente de espacio de carro de pasajeros se refiere al espacio relativo ocupado por un vehículo sobre la vía comparado con un carro de pasajeros (vehículo liviano mediano-grande) reflejando que el modelo de flujo-velocidad se ve afectado por las velocidades de los diferentes vehículos dentro del flujo de tráfico.
- ➔ **Número de llantas (No of Wheels) y número de ejes:** El número de llantas por tipo de vehículo y el número de ejes se definió a partir de las especificaciones técnicas de cada uno de los vehículos típicos definidos para cada categoría.

3.3.2.2 Llantas – Neumáticos

El consumo de neumáticos puede llegar a ser uno de los mayores componentes dentro de los costos de usuarios especialmente para aquellos vehículos que anualmente recorren grandes cantidades de kilómetros. Los principales parámetros de estudio son:

- ➔ **Tipo de llanta (Tyre type):** se definieron tres tipos principales de llanta, Bias-ply, Radial, Super – single.
- ➔ **Número de reencauchado por llanta:** El número de veces que se reencaucha una llanta varía de acuerdo con el estado de la carcasa y del usuario de los vehículos (privados o públicos).

- **Costo de Reencauche (en porcentaje de una llanta nueva):** El costo de reencuache es el precio que el consumidor debe pagar por la colocación de una banda nueva sobre la llanta usada incluyendo el procedimiento mencionado en el numeral anterior. El costo de reencauche, en el modelo HDM-4 debe, expresarse como porcentaje del costo de una llanta nueva.

3.3.2.3 Utilización

La información sobre la utilización de un vehículo y su vida útil son elementos requeridos por el modelo HDM-4 para realizar el cálculo de consumo de partes y de costos de partes y mantenimiento principalmente. Los principales parámetros son:

- **Kilómetros recorridos anualmente:** Los kilómetros recorridos anualmente por un vehículo se refieren a la distancia acumulada que ha recorrido un vehículo en un período de 1 año.
- **Horas Trabajadas en el año:** Se definen como el tiempo en que el vehículo realiza un recorrido de ida y vuelta incluyendo el tiempo que se emplea en el cargue y descargue así como el tiempo que se demora en suministrar combustible al vehículo.
- **Vida de servicio (vida útil básica) de los vehículos:** es el período en el que se opera un vehículo
- **Uso Privado de los vehículos:** El uso privado de un vehículo corresponde al uso particular que un vehículo tiene durante su vida útil, diferente al uso comercial que puede tener por ejemplo el transporte de pasajeros.
- **Pasajeros por vehículo:** El número de pasajeros por vehículo corresponde a la tasa promedio de ocupación de cada uno de los tipos de vehículos que transitan por una vía
- **Porcentaje de pasajeros en viajes (desplazamientos) de trabajo:** El porcentaje de pasajeros en viajes de trabajo se refiere a la cantidad de pasajeros de cada uno de los vehículos cuyo origen o destino es su lugar de trabajo.

3.3.2.4 Carga por eje (Loading)

Con el fin de predecir los impactos que genera el tráfico en el deterioro del pavimento y los efectos de la conservación se debe conocer el factor de ejes equivalentes (ESALF) y el peso bruto vehicular (operating weight), valores que considera el HDM-4 para determinar la carga por eje de los vehículos.

3.3.3 ATRIBUTOS: COSTOS UNITARIOS ECONÓMICOS (ECONOMIC UNIT COSTS)

Los costos económicos indicados en el HDM-4 se requieren para establecer dentro del modelo los costos en que incurre un usuario de la vía, los cuales se ven afectados por parámetros relacionados con características, de los vehículos, de las vías, entre otros.

Generalmente, los costos que se manejan en el comercio corresponden a costos financieros los cuales se definen como los costos del mercado mientras que los costos económicos son los costos netos excluyendo impuestos y subsidios. Los costos que se deben ingresar al sistema se relacionan a continuación:

3.3.3.1 Costos relacionados con el Vehículo

Los costos relacionados con el vehículo se refiere a costos de vehículo nuevo, costos de las llantas nuevas, costos de combustible, costos de lubricantes, costos de mantenimiento, costo de equipo de trabajo, costos anuales, tasa de interés anual.

- **Costo de un vehículo nuevo:** Un vehículo nuevo se define como el medio de transporte recién matriculado (motorizado para este estudio) cuyo motor, carrocería y en general todas sus partes no han sido utilizada y su kilometraje es cero.
- **Costo de llanta nueva (Replacement Tyre).**
- **Costo de Combustible (Fuel) expresado en \$ por litro.**
- **Costo de aceite lubricante:** Mezclas líquidas provenientes del petróleo crudo que se coloca generalmente entre dos piezas móviles, no se degrada y forma así mismo una película que impide su contacto permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas y presiones.
- **Costo de Mantenimiento:** se refiere a los costos de mano de obra y los gastos de herramientas y generales del taller para llevar a cabo actividades rutinarias de mantenimiento como limpieza de motor, cambio de lubricante, cambio de frenos, etc. No se incluyen costos de reparaciones a gran escala como reparación de motor, causados por la falta de mantenimiento.
- **Salario de grupo Operadores (\$/hora):** Ingresos percibidos por la tripulación que hace parte de la operación de los buses y camiones, generalmente está compuesto por un conductor y un ayudante.
- **Gastos anuales:** costos anuales en los que incurre un vehículo como administración, impuestos sobre vehículos automotores, seguro obligatorio, seguro contra todo riesgo, tarjeta de operación, revisión técnico mecánica, fondo de responsabilidad entre otros.

3.3.3.2 Tasa de interés anual (anual interest)

Para la evaluación económica interna que realiza el Instituto de Desarrollo Urbano, se define una tasa de descuento de proyectos que es definida por el Gobierno, y la cual corresponde al 8% de acuerdo a la información suministrada por el IDU

3.3.3.3 Valor del Tiempo

El valor del tiempo se encuentra determinado por el tiempo de trabajo de un pasajero, tiempo diferente al trabajo y tiempo de transporte de carga para los camiones.

3.3.3.4 Costos unitarios de emisiones

Los costos por emisiones contaminantes para la ciudad desagregado en los principales contaminantes: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), micropartículas (MP), hidrocarburos (HC), plomo (Pb), Oxido Nitroso (NO_x), Dióxido de Sulfato (SO₂).

3.3.3.5 Costos de Seguridad vial

Los costos de seguridad vial se presentan en función del costo de accidentes fatales en función del PIB por persona y costos de lesiones graves como porcentaje de costo de accidentes fatales.

3.4 DATOS DE ENTRADA DE CALIBRACIÓN EN EL HDM-4

Así como se establecen datos de entrada adecuados a la ciudad de Bogotá, existen factores que se encuentran determinados por las características de los vehículos y de la vía, los cuales se encuentran por defecto en el modelo HDM-4. Debido al nivel de detalle y de investigación que se requiere para calibrar los factores internos de la flota vehicular se adoptaron los valores que recomienda el HDM-4, exceptuando los siguientes, los cuales fueron adaptados a la flota vehicular de la ciudad:

- ✓ Area frontal
- ✓ Potencia: de frenado, de conducción y nominal.
- ✓ Diámetro del neumático y volumen de caucho del mismo.

3.5 BASE DE DATOS DE DATOS DE ENTRADA AL MODELO HDM-4

Como parte de este documento se entrega una base de datos en formato Excel con los datos de entrada al modelo HDM-4 para cada uno de los 12 tipos de vehículos, donde se especifica el parámetro, valor del parámetro o dato y la fuente empleada.

En el Anexo 2 se muestra la base de datos de entrada del HDM-4, donde se consolidan todos los parámetros anteriormente nombrados.

La siguiente imagen muestra de manera general la organización de los parámetros para moto y vehículo liviano pequeño, la cual se extiende para los 12 tipos de vehículos definidos en el proyecto.

Item	Nombre	Descripción	Volume 4 Reference	Moto	
				Valor o Dato	Fuente
1	VEH_NAME	Tipo de vehículo que se ha escogido	N/A	Moto	Informe E1_P2_005-007
2	CATEGORY	La categoría del tipo de vehículo (motorizado o no motorizado). 0 = Motorizado (MT) 1 = No - Motorizado (NM)	E1	Categoria=0	Informe E1_P2_005-007
3	BASE_TYPE	HDM-4 presenta tipos representativos de vehículos para los cuales se proveen grupos de relaciones de RUE. Existen 16 tipos de vehículos motorizados y 4 tipos de vehículos no motorizados predefinidos como estándar.	E1	Motocicleta	Informe E1_P2_005-007
4	CLASS	La clase de vehículo se refiere a grupos de vehículos con características físicas, de utilización y rendimiento parecidas.	E1	Moto	Informe E1_P2_005-007
5	INFO	Breve descripción del vehículo.	N/A	Discover 135 Sport, Motor 4 tiempos, cilindraje: 134.21 C.C., Potencia: 13.0 HP@8.500 rpm., 2 llantas. Peso Bruto: 109 Kg.	Ficha técnica del vehículo

4. ADAPTACION DE LOS MODELOS PARA LAS CONDICIONES DE BOGOTÁ

En este capítulo se realizó la adaptación de los modelos para las condiciones de Bogotá específicamente en los parámetros que se encuentran relacionados con las “Características de la vía” contenidas en la herramienta RUC adecuada por TNM así como en el módulo de efectos sobre los usuarios que se encuentra contenido en el HDM-4; lo anterior permitió establecer qué parámetros requieren calibración, en etapas subsiguientes al contrato. Es fundamental asegurar que los resultados obtenidos en los modelos, reflejen las condiciones reales de las vías de Bogotá, que junto con los datos de entrada recopilados en el capítulo anterior, se pueda realizar una evaluación económica adecuada. Si los datos y modelos no reflejan la realidad, la planificación de intervenciones y priorización de recursos no será correcta.

Con el fin de realizar una evaluación económica de un proyecto, es necesario contar con los costos y beneficios a lo largo del período de análisis. La mayoría de los beneficios se generan por una reducción de los costos de transporte, por lo tanto, es **ESENCIAL** predecir de una forma adecuada los costos de transporte bajo diferentes alternativas de inversión para poder realizar una acertada evaluación económica.

Previamente se definieron los datos de entrada correspondientes a la Flota Vehicular de la ciudad de Bogotá y los parámetros de calibración de la flota vehicular bogotana, los cuales hacen parte de la información básica del sistema para la evaluación del módulo de Efectos sobre los Usuarios (Road User Effects) contenidos en el HDM-4. Así mismo, estos datos de entrada hacen parte de la información básica de la herramienta RUC “Sistema de Cálculo de costos de Usuarios” la cual se encuentra basada en el modelo RUCKS versión 2.0 desarrollado por el Banco Mundial.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

Los datos de entrada que se solicitan como parte de las características de la vía se encuentran agrupados en las siguientes categorías: condición de la vía, geometría de la vía, factores de ajuste de velocidad, factores de resistencia a la rodadura, tráfico vial, índice de accidentes en flota vehicular, patrón de flujo y velocidad del tráfico, los cuales se definen a continuación. Los datos adaptados a la ciudad de Bogotá se presentan en el Anexo 3. La siguiente figura presenta una vista general de la hoja “Características de la vía”.



Figura 7 Datos de Entrada – Características de la Vía

Características de la Vía		CORREDOR 2	
Condición de la calzada			
Rugosidad de la Vía (IRI, m/km)	Ancho de la Vía (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Gravel/ 4 - Tierra)	Altitud (m)
12.0	7.0	3	2640
Geometría de la calzada			
	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Peralte (%)
	1	1	2.0
Factores de Resistencia a la Rodadura			
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
60	1.00	0.95	0.70
Factores de Resistencia a la Rodadura			
	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
	1.00	0	0.70
Factores de Resistencia a la Rodadura			
	Fricción del Tránsito Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
	1.00	0	0.70
Índice de Accidentes en Flota Vehicular			
	Accidente Fatal	Lesiones graves	
	3	30	
Número por cada 100 millones de vehículos-km			
8760			
Tránsito Vial			
Descripción de Vehículo	Tránsito promedio Diario Anual TPDA		
Taxi	3066		
Liviano particular	125		
Utilitario	182		
Bus Liviano	878		
Bus Mediano	206		
Bus Grande	1211		
Camión Liviano	485		
Camión Mediano	169		
Camión Pesado	14		
Camión Articulado	0		
Bus Articulado	0		
Total	8646		
Patrón de Flujo de Tránsito			
Número de Horas Por Año en Cada Período			
Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)
16.13	21.51	19.35	2543.2
1224.5			
8760			
Patrón de Flujo de Tránsito			
Número de Horas Por Año en Cada Período			
Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)
16.13	21.51	19.35	2543.2
1224.5			
8760			
Tipo de Flujo - Velocidad			
Capacidad Máxima (pcse/hora/carril)	Capacidad a Flujo Libre (pcse/hora/carril)	Capacidad Nominal (pcse/hora/carril)	Velocidad de embotellamiento a máxima Capacidad (km/hora)
72	7	64	6.74
Número de Carriles			
2			
Factor de Ajuste de Velocidad Deseado (#)			
1			
Parámetros de Ruido de la Aceleración zarraxr (m/s2)			
0.10			
Factor de Ajuste de Velocidad de Operación (#)			
1.0			
Efectos de Aceleración (1-SI, 0-No)			
0			

Página 1

4.1.1.1 Condición de la Vía

La condición de la vía se refiere a parámetros básicos como ancho de la vía, regularidad y tipo de superficie finalmente. La importancia de estos parámetros básicos se encuentra relacionados con los efectos que estos pueden ocasionar sobre la velocidad, combustible, consumo de partes y repuestos y en consecuencia, los efectos sobre los costos de usuarios de las vías. Los principales parámetros incluidos en esta categoría son:

- **Regularidad de la vía:** IRI.
- **Ancho de la vía (m):** se encuentra delimitado por la distancia entre andenes laterales (no separadores) por donde circula los vehículos.
- Tipo de Superficie de la vía (m): flexible, rígido, afirmado o tierra.

4.1.1.2 Geometría de la Vía

La geometría de la vía se refiere a parámetros básicos como subidas y bajadas en la vía expresadas en m/km, número de subidas y bajadas por km, curvatura horizontal (grados/km), superelevación, altitud. La importancia de estos parámetros básicos se encuentran relacionados con los efectos que estos pueden ocasionar sobre la velocidad, combustible, consumo de partes y repuestos y en consecuencia, los efectos sobre los costos de usuarios de las vías.

4.1.1.3 Factores de Ajuste de Velocidad

Los factores de ajuste de velocidad se definen como aquellos factores que influyen en la vía de manera que no se pueda lograr la velocidad a flujo libre. Dentro de estos ajustes se tiene la velocidad límite, el factor de cumplimiento de la velocidad límite, fricción de la vía, fricción del tráfico no motorizado, los cuales se enuncian a continuación:

- **Velocidad límite (km/h):** Este parámetro se refiere a la velocidad máxima permitida por la ley en el país y/o ciudad.
- **Factor de Cumplimiento de la Velocidad límite:** El factor de cumplimiento de la velocidad límite es la velocidad con la que circula el tráfico por encima del límite de velocidad en condiciones ideales.
- **Fricción de la vía:** Este valor es un factor de reducción de la velocidad deseada debido a actividades en la vía, por ejemplo, parada de buses, paradas en la vía y puntos de acceso en la vía.

- **Fricción del tráfico no motorizado (#):** Este valor es un factor de reducción de la velocidad deseada debido a la presencia de transporte no motorizado, por ejemplo, peatones, bicicletas y carros de tracción animal.

4.1.1.4 Factores de Resistencia a la Rodadura

Los factores de resistencia a la rodadura se encuentran relacionados con factores climáticos que afectan la rodadura sobre las vías así como la textura de la misma. Dentro de estos factores se encuentra el porcentaje del tiempo que se conduce sobre agua, porcentaje del tiempo que se conduce sobre nieve y la profundidad de textura de vías pavimentadas (mm).

4.1.1.5 Patrón de Flujo de tráfico

El patrón de flujo de tráfico es la definición de la distribución de tráfico anual durante el año. El día de un año es dividido en 5 períodos desde el período con mayor congestión hasta el período de menor congestión; así mismo para cada período se necesita definir:

- Número de horas en cada período y
- El porcentaje de tráfico anual en cada período.

4.1.1.6 Parámetros del modelo velocidad – flujo

Los factores de tipo de velocidad de tráfico se encuentran relacionados con factores de capacidad máxima, capacidad a flujo libre, capacidad nominal, velocidad de embotellamiento a máxima capacidad y el número de carriles de la vía. Estos parámetros fueron calibrados de acuerdo a las condiciones de la ciudad de Bogotá, mediante el modelo flujo – velocidad (Capítulo 5) y se mencionan a continuación:

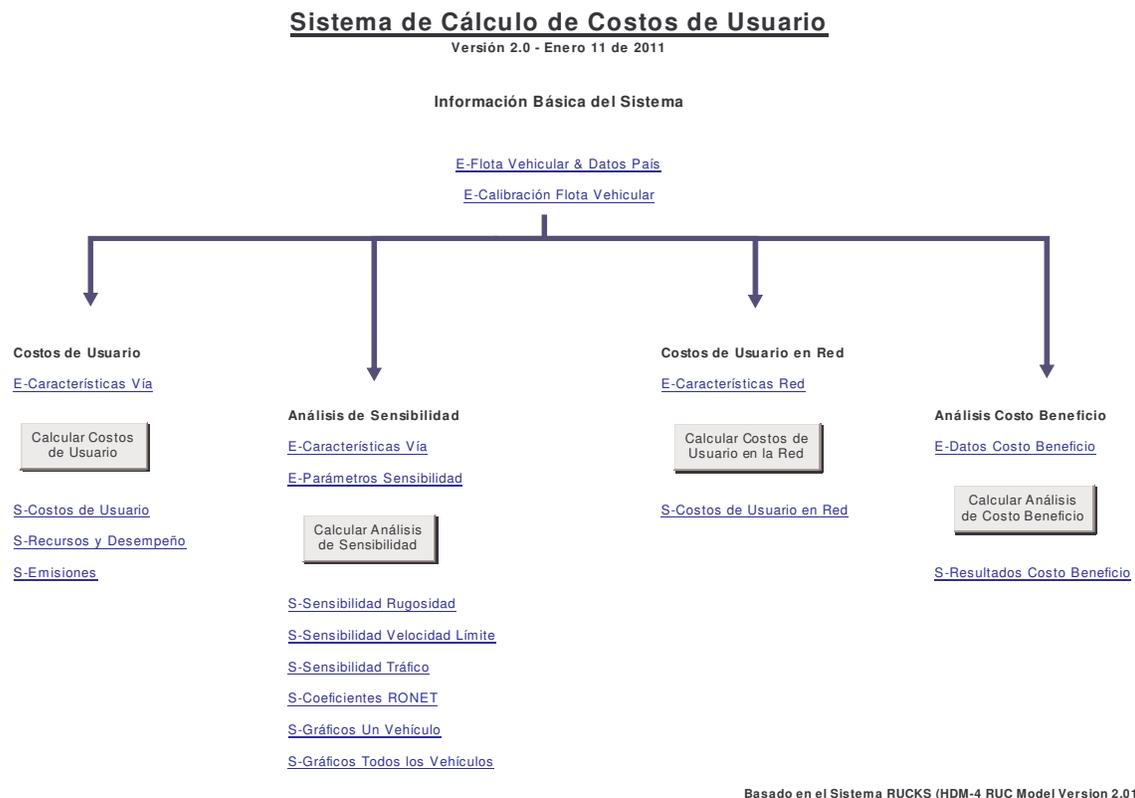
- **Capacidad máxima (PCSE/hora/carril):** la capacidad máxima de la vía expresada en equivalencia del espacio del vehículo, el cual es el máximo número de vehículos que pueden pasar un punto o atravesar un tramo de una vía en una hora.
- **Flujo a velocidad libre (pcse/hora/carril):** Este parámetro se expresa como una fracción de la capacidad máxima, la cual indica el nivel de flujo bajo el cual las interacciones de tráfico son insignificantes.
- **Flujo Nominal (pcse/hora/carril):** Este parámetro se expresa como una fracción de la capacidad máxima, la cual indica el nivel de flujo en el que las velocidades de todos los vehículos son las mismas y comienzan a disminuir a la misma tasa con el incremento en el tráfico.

- ➔ **Velocidad de embotellamiento a máxima capacidad (km/hora):** La velocidad de embotellamiento a máxima capacidad, expresada en km/hora, representa las velocidades del vehículo a máxima capacidad.

4.2 HERRAMIENTA RUC – BOGOTÁ PARA DETERMINACIÓN DE COSTOS DE USUARIOS

Esta herramienta ha sido diseñado para calcular los costos unitarios de usuarios de la red vial relacionados con los parámetros de velocidad, tiempos de viaje, costos de operación vehicular y emisiones, adoptando el Modelo de Estándares para Diseño y Mantenimiento Vial HDM-4 (Highway Development and Management Model) Versión 2.01. Adicionalmente, permite calcular costos de seguridad vial teniendo en cuenta la metodología del Programa Internacional de Evaluación de Vías - iRAP (International Road Assessment Programme (Ver Figura 8)

Figura 8 Interfaz principal de herramienta RUC – Bogotá



Esta herramienta RUC-Bogotá se encuentra en el Anexo 4 incluyendo todos los datos correspondientes a la flota vehicular adaptados a las condiciones de Bogotá así como los valores recomendados para clasificar las vías de la ciudad en función del sentido de la vía, número de carriles y presencia de semáforos.

Con el fin de realizar diferentes tipos de evaluación económica, se presentan 4 versiones de la herramienta así:

- **RUC-Bogotá pesos financieros:** Se refiere a los costos financieros definidos para los consumos de la flota vehicular colombiana, expresada en pesos colombianos.
- **RUC-Bogotá pesos económicos:** Se refiere a los costos económicos definidos para los consumos de la flota vehicular colombiana, expresada en pesos colombianos.
- **RUC-Bogotá dólares financieros:** Se refiere a los costos financieros definidos para los consumos de la flota vehicular colombiana, expresada en dólares americanos, con una tasa representativa de mercado de 1 US = 1850 COP
- **RUC-Bogotá dólares económicos:** Se refiere a los costos económicos definidos para los consumos de la flota vehicular colombiana, expresada en dólares americanos, con una tasa representativa de mercado de 1 US = 1850 COP

Adicionalmente se entrega un manual de usuario en el cual se define cada uno de los parámetros que contiene la herramienta de manera que el usuario lo utilice como guía de consulta para definir o modificar alguno de los parámetros predefinidos para la ciudad de Bogotá, o considere realizar un análisis de sensibilidad de alguno de los parámetros principales que la componen. También encontrarán un anexo de valores recomendados que sirven como referencia para emplearlos en caso de que no se cuente con información del corredor a evaluar.

4.2.1 PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO

Para evaluar las opciones del modelo diseñado, han sido definidos varios parámetros de entrada que permiten establecer las condiciones básicas de la región a evaluar, así como otros parámetros relacionados con la flota vehicular de la vía en cuestión. Los parámetros solicitados por la herramienta de Excel son los siguientes:

4.2.1.1 Datos de Flota Vehicular e Información del País

En este ítem, el sistema solicita las características básicas de la flota vehicular y el país a ser evaluado. La información requerida incluye información de costos económicos o financieros, relacionados con los tipos de vehículo que pueden ser evaluados para el país.

Figura 9 Datos de Flota Vehicular e Información del País

Datos de Flota Vehicular

Descripción del Vehículo	Costos Unitarios Económicos o Financieros (\$)										Características Básicas de Flota Vehicular							
	Vehículo Nuevo (\$/vehículo)	Neumático Nuevo (\$/neumático)	Combustible (\$/litro)	Aceite Lubricante (\$/litro)	Trabajo de Mantenimiento (\$/hora)	Salario del Operador (\$/hora)	Gastos Anuales (\$/año)	Interés Anual (%)	Tiempo de Trabajo de Pasajero (\$/hora)	Tiempo de No-Trabajo de Pasajero (\$/hora)	Tiempo de Acarreo de Carga (\$/hora)	Kilómetros Anuales Conducidos (km)	Horas de Trabajo Anuales (horas)	Vida de Servicio Privado (años)	Número de Pasajeros (#)	Viajes de Trabajo de Pasajero (%)	Peso Bruto del Vehículo (t)	
Motocicleta	4.900.000	48720.00	2019.84	7856.71	4295.48	0.00	387.300	8.0	2292.00	687.60	0.00	15.560	615	8	100	1.264	67	0.1
Taxi	21.490.000	95999.28	2019.84	15827.17	10311.10	16625.00	5.669.550	8.0	2627.00	789.19	0.00	87.360	3.626	10	7	1.264	46	0.8
Liviano particular	29.900.000	97999.12	2019.84	15827.17	10311.10	0.00	841.700	8.0	2719.00	815.70	0.00	20.000	791	10	100	1.264	59	1.1
Utilitario	67.500.000	324999.52	2019.84	15827.17	10311.10	0.00	2.078.600	8.0	2719.00	815.70	0.00	20.000	791	10	100	1.264	59	1.7
Bus Liviano	65.710.000	290000.00	1684.36	13043.01	12528.00	18592.90	3.598.950	8.0	1730.00	519.00	0.00	47.100	2.479	20	0	11.5	61	5.2
Bus Mediano	147.270.000	889999.56	1684.36	13043.01	19334.88	20452.19	5.817.550	8.0	1730.00	519.00	0.00	47.164	2.483	20	0	30.2	61	14.5
Bus Grande	170.640.000	979999.32	1684.36	13043.01	19334.88	20452.19	6.748.550	8.0	1730.00	519.00	0.00	47.760	2.514	20	0	48.4	61	16.0
Camión Liviano	55.000.000	290000.00	1684.36	13043.01	13456.00	21250.00	3.209.700	8.0	0.00	0.00	0.00	46.670	2.456	35	0	0	0	3.5
Camión Mediano	109.210.000	889999.56	1684.36	13043.01	13456.00	21250.00	5.326.100	8.0	0.00	0.00	0.00	43.330	2.281	35	0	0	0	11.0
Camión Pesado	131.000.000	979999.32	1684.36	13043.01	15426.70	21250.00	8.113.700	8.0	0.00	0.00	0.00	20.000	1.235	35	0	0	0	26.5
Camión Articulado	225.000.000	979999.32	1684.36	11525.00	17927.29	21250.00	12.046.400	8.0	0.00	0.00	0.00	20.000	1.235	35	0	0	0	44.0
Bus Articulado	680.000.000	979999.32	1684.36	11525.00	21193.20	15483.60	16.710.350	8.0	1873.00	561.90	0.00	80.956	3.298	20	0	15.1	61	28.0

País y Moneda

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Costos Unitarios de Emisiones

Costos Unitarios de Emisiones (\$ por tonelada)						
Dióxido de Carbono	Monóxido de Carbono	Hidrocarburos	Dióxido de Nitrógeno	Partículas	Dióxido de Sulfuro	Plomo
37.000	1.850.000	4.070.000	4.625.000	56.425.000	1.480.000	-

Costos de Seguridad Vial

Costos de Seguridad Vial	
PIB per cápita (\$/persona)	10.571.429
Factor multiplicador de PIB per cápita para obtener costo de accidentes fatales	70
Costo de lesiones graves como porcentaje de costo de accidentes fatales	25%
Costo de accidentes fatales (\$/accidente fatal)	740.000.000
Costo de lesiones graves (\$/lesión grave)	185.000.000

Los parámetros de entrada están subdivididos según costos económicos o financieros, características básicas de la flota vehicular, información del país, costos de emisiones y costos en seguridad vial.

a. Costos Económicos o Financieros

- Vehículo Nuevo (\$/vehículo)
- Neumático Nuevo (\$/neumático)
- Combustible (\$/litro)
- Aceite Lubricante (\$/litro)
- Trabajo de Mantenimiento (\$/hora)
- Salario del Operador (\$/hora)
- Gastos Generales (\$/año)
- Tasa de Interés (%)
- Tiempo de Trabajo de Pasajero (\$/hora)
- Tiempo de No-Trabajo de Pasajero (\$/hora)
- Retraso en Acarreo de Carga (\$/hora)

b. Características Básicas de la Flota Vehicular

- Kilómetros Conducidos Anualmente (km)

- Horas Trabajadas Anualmente (horas)
- Vida de Servicio (años)
- Uso Privado (%)
- Número de Pasajeros (#)
- Viajes de Trabajo de Pasajeros (%)
- Peso Bruto del Vehículo (toneladas)

c. Información del País y Moneda

- Nombre del País
- Moneda
- Año

d. Costos Unitarios de Emisiones

- Costos Unitarios de Emisiones (\$/tonelada)

e. Costos de Seguridad Vial

- PIB per cápita (\$/persona)
- Factor multiplicador de PIB per cápita para obtener costos de accidentes fatales (#)
- Costo de daños serios como porcentaje de costo de accidentes fatales (%)
- Costo de accidentes fatales (\$/accidente fatal)
- Costo de daños serios (\$/daño serio)

4.2.1.2 Datos de Calibración de la Flota Vehicular

En este ítem son solicitados los parámetros de calibración de la flota vehicular a ser evaluada. Por defecto son presentados los valores del modelo HDM-4 y el usuario puede modificarlos para calibrar el modelo de costos de usuario y de esta forma, reflejar las condiciones locales.

Figura 10 Datos de Calibración de la Flota Vehicular

Calibración de Flota Vehicular

Descripción del Vehículo	Vida Útil Método (0-Constante, 1-Óptima)	Características Físicas			Neumáticos			Fuerzas - Aerodinámica			Fuerzas - Resistencia a la Rodadura			Potencia					
		Equivalente de Carro de Pasajero (#)	Número de Ruedas (#)	Tipo de Neumático (0-Radial, 1-Con cámara)	Número Básico de Reencaches (#)	Costo de Reencache (%)	Área Frontal Proyectada (m ²)	Coefficiente de Arrastre Aerodinámico (#)	Multiplicador de Arrastre Aerodinámico (#)	CR_B_A0 (#)	CR_B_A1 (#)	CR_B_A2 (#)	Potencia de Avance (kW)	No Utilizado	Potencia de Frenado (kW)	No Utilizado	Potencia Nominal del Motor (kW)	NGT_OPER No Utilizado	No Utilizado
Motocicleta	1	0.50	2.00	1.00	0.00	100.00	0.80	0.70	1.10	37.00	0.064	0.012	10.71	1	5.00	1	12.53	0	1
Taxi	0	1.00	4.00	0.00	0.00	100.00	1.80	0.40	1.10	37.00	0.064	0.012	26.83	1	20.00	1	46.55	1	1
Liviano particular	0	1.00	4.00	0.00	0.00	100.00	1.90	0.42	1.10	37.00	0.064	0.012	38.11	1	20.00	1	76.84	1	1
Utilitario	1	1.10	4.00	0.00	0.00	100.00	2.80	0.50	1.11	37.00	0.064	0.012	55.54	1	25.00	1	135.03	2	1
Bus Liviano	1	1.20	4.00	1.00	2.00	55.00	4.00	0.50	1.13	37.00	0.064	0.012	49.08	1	45.00	1	70.12	2	1
Bus Mediano	1	1.50	6.00	0.00	3.00	35.00	5.00	0.55	1.14	37.00	0.064	0.012	105.75	1	70.00	1	151.07	1	1
Bus Grande	1	1.60	6.00	0.00	3.00	43.00	6.50	0.65	1.14	37.00	0.064	0.012	187.99	1	120.00	1	268.56	6	1
Camión Liviano	1	1.10	4.00	1.00	2.00	55.00	4.00	0.55	1.13	37.00	0.064	0.012	49.08	1	45.00	1	70.12	2	1
Camión Mediano	1	1.30	6.00	0.00	2.00	35.00	5.00	0.60	1.13	37.00	0.064	0.012	107.31	1	70.00	1	153.30	3	1
Camión Pesado	1	1.40	10.00	0.00	3.00	43.00	8.50	0.70	1.14	37.00	0.064	0.012	182.00	1	120.00	1	260.00	7	1
Camión Articulado	1	1.60	18.00	0.00	3.00	35.00	9.00	0.80	1.22	37.00	0.064	0.012	208.88	1	255.00	1	298.40	11	1
Bus Articulado	1	1.80	10.00	0.00	2.00	43.00	6.50	0.65	1.14	37.00	0.064	0.012	187.99	1	120.00	1	268.56	11	1

Los parámetros solicitados para realizar cálculos son los siguientes:

- a. *Vida Útil*
- b. *Características Físicas*
- c. *Neumáticos (tipo de neumático, número de reencauches, etc.)*
- d. *Fuerzas – Aerodinámicas*
- e. *Fuerzas – Resistencia a la Rodadura*
- f. *Potencia*
- g. *Velocidad – Parámetros de Velocidad Deseada (VCURVE, VROUGH, etc.)*
- h. *Velocidad – Parámetros (velocidad máxima rectificada, sigma de velocidad, etc.)*
- i. *Combustible (velocidad del motor, eficiencia de combustible, etc.)*
- j. *Lubricantes*
- k. *Fuerzas – Ruido en la Aceleración*
- l. *Neumáticos (diámetro de llantas, constante térmica, etc.)*
- m. *Mantenimiento – Repuestos*
- n. *Mantenimiento – Trabajo*
- o. *Vida Útil Óptima (coef. de regresión 1 y 2)*
- p. *Valor Residual*
- q. *Seguridad Vial*

4.2.1.3 Características de la Vía

Solicita información sobre las características básicas de la vía a ser evaluada. Los parámetros requeridos están agrupados de la siguiente forma:

- a. *Condición de la Vía*
 - *Rugosidad de la Vía (IRI, m/km)*
 - *Ancho de la Vía (m)*
 - *Superficie*
- b. *Geometría de la Vía*
 - *Subidas y Bajadas (m/km)*
 - *Número de Subidas y Bajadas (#)*
 - *Arqueamiento Horizontal (grados/km)*
 - *Superelevación (%)*
 - *Altitud (m)*
- c. *Factores de Ajuste de Velocidad*
 - *Velocidad Límite (km/hora)*
 - *Factor de cumplimiento de velocidad límite (#)*

- Fricción de la Vía (#)
- Fricción del Tráfico No Motorizado (#)
- d. *Factores de Resistencia a la Rodadura*
 - Porcentaje del tiempo que se conduce sobre Agua (%)
 - Porcentaje del tiempo que se conduce sobre Nieve (%)
 - Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
- e. *Tráfico Vial*
 - Descripción del vehículo (motocicleta, automóvil pequeño, etc.)
 - Promedio Anual de Tráfico Diario
- f. *Índice de Accidentes en la Flota Vehicular*
 - Número de accidentes fatales por cada 100 millones de vehículos-km (#)
 - Número de daños serios por cada 100 millones de vehículos-km (#)
- g. *Patrón de Flujo de Tráfico*
 - Porcentaje de Tráfico Anual en cada período (Período 1 a 5)
 - Número de Horas por cada año en cada período (Período 1 a 5)
- h. *Tipo de Velocidad de Tráfico*
 - Capacidad Máxima (pcse/hora/carril)
 - Capacidad de Flujo Libre (pcse/hora/carril)
 - Capacidad Nominal (pcse/hora/carril)
 - Velocidad de embotellamiento a máxima capacidad (km/hora)
 - Número de carriles (#)
- i. *Factor de Ajuste de Velocidad Deseada*
- j. *Parámetros de Ruido de la Aceleración*
 - $zadr_{al}$ (m/s²)
 - $zamaxr$ (m/s²)
- k. *Factor de Ajuste de Velocidad de Operación*
- l. *Efectos de la Aceleración*

En este punto, se muestran los valores por defecto manejados por el modelo HDM-4 de acuerdo con las características de la vía.

Figura 11 Características de la Vía

Características de la Vía									
CORREDOR 1. CALLE 140 Entre AV. CARRERA 9 y AV. CARRERA 15									
Condición de la calzada				Geometría de la calzada					
Rugosidad de la Vía (IRI, m/km)	Ancho de la Vía (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)		Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)	Altitud (m)	
4.6	10.2	1		1	1	3	2.0	2640	
Factores de Ajuste de Velocidad				Factores de Resistencia a la Rodadura					
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)			
60	1.00	0.80	1.00	48	0	0.70			
Tránsito Vial		Índice de Accidentes en Flota Vehicular							
Descripción de Vehículo	Tránsito promedio Diario Anual TPD	Número por cada 100 millones de vehiculos-km		Accidente Fatal		Daños Serios			
Motocicleta	667			3		30			
Taxi	3979								
Liviano particular	35								
Utilitario	37								
Bus Liviano	95								
Bus Mediano	159								
Bus Grande	387								
Camión Liviano	53								
Camión Mediano	50								
Camión Pesado	12								
Camión Articulado	21								
Bus Articulado	0								
Total	5494								
Patrón de Flujo de Tránsito									
Porcentaje de Tránsito Anual en Cada Período					Número de Horas Por Año en Cada Período				
Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)	Período 5 (%)	Período 1 (#)	Período 2 (#)	Período 3 (#)	Período 4 (#)	Período 5 (#)
20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	1770.6	1770.6	1957.0	2329.8	931.9
100					8760				
Tipo de Flujo - Velocidad					Factor de Ajuste de Velocidad Deseado (#)	Parámetros de Ruido de la Aceleración		Factor de Ajuste de Velocidad de Operación (#)	Efectos de Aceleración (1-Sí, 0-No)
Capacidad Máxima (pcse/hora/carril)	Capacidad a Flujo Libre (pcse/hora/carril)	Capacidad Nominal (pcse/hora/carril)	Velocidad de embotellamiento a máxima Capacidad (km/hora)	Número de Carriles (#)		zadral (m/s2)	zamaxr (m/s2)		
1088	159	979	6.83	2	1	0.10	0.65	1.0	0

Página 1

4.2.1.4 Parámetros de Sensibilidad

Define los parámetros de entrada necesarios para ejecutar el análisis de sensibilidad el modelo. La herramienta calcula sensibilidad para los siguientes parámetros:

- Sensibilidad en la Rugosidad
- Sensibilidad en la Velocidad Límite
- Sensibilidad en el Tráfico

4.2.1.5 Características de la Red Vial

Almacena las características de la red vial a ser evaluada. Cada fila representa un tramo vial homogéneo de la red. Debe ingresar todos los atributos de los tramos en las columnas correspondientes.

Figura 12 Parámetros de Sensibilidad (Rugosidad – Velocidad Límite – Tráfico)

Parámetros de Sensibilidad

Sensibilidad en la Rugosidad	
Rugosidad Mínima (IRI, m/km)	2
Rugosidad Máxima (IRI, m/km)	20

Sensibilidad en el Límite de Velocidad	
Límite de Velocidad Mínima (km/hora)	20
Límite de Velocidad Máxima (km/hora)	110

Sensibilidad en el Tránsito									
Categorías de tránsito	Tránsito promedio diario anual y Composición del tránsito para cada una de las categorías								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Tránsito promedio diario anual (TPDA)	5	20	65	200	650	2.000	6.500	20.000	65.000
Vehículo	Composición Típica de Tránsito (%)								
Motocicleta	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Taxi	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
Liviano particular	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
Utilitario	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Bus Liviano	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Bus Mediano	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Bus Grande	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Camión Liviano	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Camión Mediano	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Camión Pesado	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Camión Articulado	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
Bus Articulado	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Figura 13 Características de la Red Vial

Características de la Red

ID de calzada	Descripción de calzada	Longitud de tramo (km)	Condición de la calzada			Tránsito promedio diario anual										Geometría de la Vía						
			Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4- Tierra)	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado	Bus Articulado	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)	Altitud (m)
RD1	Via 1	100.0	2.0	7.0	1	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0
RD2	Via 2	100.0	4.0	7.0	2	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0
RD3	Via 3	100.0	6.0	7.0	3	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0
RD4	Via 4	100.0	8.0	7.0	4	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0
RD5	Via 5	100.0	10.0	7.0	1	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0
RD6	Via 6	100.0	12.0	7.0	1	10	40	40	20	20	10	20	20	10	2	6	2	1	1	3	2.0	0

4.2.1.6 **Datos de Análisis Costo Beneficio**

Esta hoja almacena los datos necesarios para ejecutar un análisis básico de costo beneficio considerando un período de evaluación de 20 años. Ingrese: 1) el tráfico normal por tipo de vehículo durante el período de evaluación; 2) las características anuales de la alternativa sin proyecto y la alternativa con proyecto, que consisten en el capital anual estimado y costos de mantenimiento en la vía, en \$ millones por año, y el estimado correspondiente a las características anuales de la vía (condición, geometría, factores de reducción de velocidad, etc.).

Figura 14 Datos de análisis Costo - Beneficio

Datos de Análisis Costo Beneficio

Tránsito Normal

Año	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)											Total	
	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado		Bus Articulado
1	0	0	750	300	0	135	120	75	15	30	45	30	1500
2	0	0	773	309	0	139	124	77	15	31	46	31	1545
3	0	0	796	318	0	143	127	80	16	32	48	32	1591
4	0	0	820	328	0	148	131	82	16	33	49	33	1639
5	0	0	844	338	0	152	135	84	17	34	51	34	1688
6	0	0	869	348	0	157	139	87	17	35	52	35	1739
7	0	0	896	358	0	161	143	90	18	36	54	36	1791
8	0	0	922	369	0	166	148	92	18	37	55	37	1845
9	0	0	950	380	0	171	152	95	19	38	57	38	1900
10	0	0	979	391	0	176	157	98	20	39	59	39	1957
11	0	0	1008	403	0	181	161	101	20	40	60	40	2016
12	0	0	1038	415	0	187	166	104	21	42	62	42	2076
13	0	0	1069	428	0	192	171	107	21	43	64	43	2139
14	0	0	1101	441	0	198	176	110	22	44	66	44	2203
15	0	0	1134	454	0	204	182	113	23	45	68	45	2269
16	0	0	1168	467	0	210	187	117	23	47	70	47	2337
17	0	0	1204	481	0	217	193	120	24	48	72	48	2407
18	0	0	1240	496	0	223	198	124	25	50	74	50	2479
19	0	0	1277	511	0	230	204	128	26	51	77	51	2554
20	0	0	1315	526	0	237	210	132	26	53	79	53	2630

Alternativa: Sin Proyecto (no hacer nada)

Año	Costos de Intervenciones en los tramos (M\$)		Condicción de la Vía				Geometría de la Vía				Factores de Ajuste de Velocidad				
	Costos de Rehabilitación / Reconstrucción	Costos de Mantenimiento	Longitud del tramo (km)	Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte	Altitud (m)	Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)
1	0.000	0.024	10.0	3.1	7.0	1	1	1	3	2.0	0	110	1.10	1.00	1.00
2	0.000	0.024	10.0	3.2	7.0	1	1	1	3	2.0	0	110	1.10	1.00	1.00
3	0.000	0.024	10.0	3.4	7.0	1	1	1	3	2.0	0	110	1.10	1.00	1.00
4	0.000	0.024	10.0	3.6	7.0	1	1	1	3	2.0	0	110	1.10	1.00	1.00

4.2.2 RESULTADOS DEL MODELO

4.2.2.1 Costos de Usuarios

Esta hoja almacena los costos unitarios de usuario y velocidades resultantes. La hoja presenta para cada tipo de vehículo y para el promedio de la flota vehicular

Figura 15 Resultados de Costos de Usuario

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario					
Datos de País					
Nombre de País		Moneda	Año		
Bogotá		\$	2010		
Características de la Vía					
Condicción de la calzada					
Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)		
4.6	10.2	1	1		
Factores de Ajuste de Velocidad					
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)		
60	1.00	0.80	1.00		
Costos Unitarios de Usuario para Rugosidad con IRI Igual a 4.62 m/km					
	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano
Costos de Usuario (\$/vehículo-km)	293.704	721.155	596.402	920.842	1679.745
Costo de Operación Vehicular (\$/vehículo-km)	98.942	583.983	453.727	752.141	1157.457
Combustible (\$/vehículo-km)	38.492	137.628	183.738	236.260	175.141
Lubricantes (\$/vehículo-km)	3.352	9.350	10.362	15.788	26.623
Neumáticos (\$/vehículo-km)	1.484	4.066	4.270	11.845	10.898
Piezas de Mantenimiento (\$/vehículo-km)	5.509	76.956	67.994	100.222	159.118
Trabajo de Mantenimiento (\$/vehículo-km)	8.075	36.528	28.494	22.567	133.074
Tiempo de Operador (\$/vehículo-km)	0.000	255.231	0.000	0.000	522.046
Depreciación (\$/vehículo-km)	33.794	20.536	125.409	289.928	60.022
Interés (\$/vehículo-km)	8.236	6.124	33.460	75.530	29.771
Gasto General (\$/vehículo-km)	0.000	37.564	0.000	0.000	40.764
Costos de Tiempo (\$/vehículo-km)	57.575	53.348	54.193	54.188	406.107
Tiempo de Pasajero (\$/vehículo-km)	57.575	53.348	54.193	54.188	406.107
Tiempo de Acarreo de Carga (\$/vehículo-km)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Costo de Emisiones (\$/vehículo-km)	11.612	10.572	15.229	20.331	63.858
Costo de Seguridad Vial (\$/vehículo-km)	125.576	73.252	73.252	94.182	52.323
Costo de Usuario (%)	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Costo de Operación Vehicular (%)	33.7%	81.0%	75.1%	81.7%	68.9%
Costo de Tiempo (%)	19.6%	7.4%	9.1%	5.9%	24.2%
Costo de Emisiones (%)	4.0%	1.5%	2.6%	2.2%	3.8%
Costo de Seguridad Vial (%)	42.8%	10.2%	12.3%	10.2%	3.1%
Velocidad del Vehículo (km/hr)	38.7	38.7	45.2	45.2	35.6
Tráfico Diario (vehículos/día)	667	3979	35	37	95

4.2.2.2 Recursos y Desempeño

Esta hoja presenta para cada tipo de vehículo los recursos necesitados previstos por 1000 vehículos-km (combustible, lubricantes, neumáticos, tiempo, etc.) y el desempeño de los vehículos en términos de consumo de combustible, lubricantes y neumáticos.

Figura 16 Recursos y Desempeño en cálculo de Costos de Usuario

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Condición de la calzada				Geometría de la calzada			
Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)	
4.6	10.2	1	1	1	3	2.0	

Factores de Ajuste de Velocidad				Factores de Resistencia a la Rodadura		
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
60	1.00	0.80	1.00	48	0	0.70

Recursos por 1000 vehículos-km para Rugosidad con IRI de 4.62 m/km

	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
Costos de Operación Vehicular											
Combustible (litros)	19.06	68.14	90.97	116.97	103.98	130.08	217.95	105.37	149.38	292.45	354.17
Lubricantes (litros)	0.43	0.59	0.65	1.00	2.04	2.11	2.96	1.78	1.87	3.71	3.84
Neumáticos (% de costo de neumático nuevo)	1.52%	1.06%	1.09%	0.91%	0.94%	0.24%	0.49%	2.02%	0.57%	0.25%	0.52%
Piezas de Mantenimiento (% de costo de vehículo nuevo)	0.11%	0.36%	0.23%	0.15%	0.24%	0.15%	0.15%	0.32%	0.38%	0.28%	0.31%
Trabajo de Mantenimiento (horas)	1.88	3.54	2.76	2.19	10.62	10.30	10.22	12.35	13.41	14.39	14.97
Tiempo de Operador (horas)		24.02			28.08	28.06	23.85	29.89	25.01	27.74	22.37
Depreciación (% de costo de vehículo nuevo)	0.70%	0.10%	0.43%	0.44%	0.09%	0.09%	0.09%	0.05%	0.06%	0.13%	0.13%
Interés (% de costo de vehículo nuevo)	0.17%	0.03%	0.11%	0.11%	0.05%	0.05%	0.04%	0.05%	0.04%	0.09%	0.07%
Costos de Tiempo											
Tiempo de Pasajero (horas/pasajero)	25.8	25.8	22.1	22.1	28.1	28.1	23.9	29.9	25.0	27.7	22.4
Tiempo de Acarreo de Carga (horas/vehículo)	25.8	25.8	22.1	22.1	28.1	28.1	23.9	29.9	25.0	27.7	22.4

Desempeño para Rugosidad con IRI de 4.62 m/km

	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
Consumo de Combustible (km/litro)	52.47	14.68	10.99	8.55	9.52	7.69	4.59	9.49	6.59	3.42	2.82
Consumo de Lubricantes (km/litro)	2.344	1.693	1.527	1.002	490	473	338	561	534	269	260
Vida de Neumático (km)	65.668	94.447	91.800	109.746	106.438	417.559	203.963	49.478	176.766	398.873	190.892

4.2.2.3 Emisiones

Esta hoja presenta para cada tipo de vehículo las emisiones previstas en gramos por kilómetro para siete tipos de emisiones (dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas, plomo, etc.) y detalles del consumo de combustible y velocidad previstos.

4.2.2.4 Sensibilidad en la Rugosidad

Esta hoja presenta una tabla de sensibilidad en la rugosidad de costos de usuario y los coeficientes de los polinomios de tercer grado relacionando la rugosidad a los costos.

Figura 17 Resultados de emisiones

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Condición de la calzada		Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)
	Ancho de la calzada (m)			
4.6	10.2		1	1

Factores de Ajuste de Velocidad				
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	
60	1.00	0.80	1.00	

Emisiones para Rugosidad con IRI de 4.62 m/km

	Motocicleta		Liviano		Bus Liviano
		Taxi	Particular	Utilitario	
Velocidad del Vehículo (km/hr)	38.7	38.7	45.2	45.2	35.5
Velocidad del Vehículo (m/s)	10.7	10.8	12.6	12.6	9.9
Vida Útil del Vehículo (años)	8	10	10	10	20
Consumo de Combustible (km/litro)	52.47	14.68	10.99	8.55	9.62
Consumo de Combustible (millas/galón)	123.42	34.52	25.86	20.11	22.62
Consumo de Combustible (litro/100km)	1.91	6.81	9.10	11.70	10.40
Consumo de Combustible (ml/s)	0.20	0.73	1.14	1.47	1.03
Dióxido de Carbono - CO ₂ (g/km)	38.102	162.211	216.247	277.749	271.297
Monóxido de Carbono - CO (g/km)	2.859	0.212	0.433	0.708	1.402
Hidrocarburos - HC (g/km)	0.858	0.032	0.065	0.106	1.768
Óxido de Nitrógeno - NOx (g/km)	0.286	0.766	1.188	1.611	5.795
Partículas - Par (g/km)	0.001	0.008	0.010	0.013	0.280
Dióxido de Sulfuro - SO ₂ (g/km)	0.014	0.051	0.068	0.088	0.894
Plomo - Pb (g/km)	0.006	0.021	0.027	0.035	0.000
Costo de Emisiones (\$/tonelada-km)	11.612	10.572	15.229	20.331	63.858

Figura 18 Resultados de Análisis de Sensibilidad en la Rugosidad

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Condición de la calzada		Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)
	Ancho de la calzada (m)			
4.6	10.2		1	1

Factores de Ajuste de Velocidad				
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	
60	1.00	0.80	1.00	

Sensibilidad de Costos Unitarios de Usuario debido a la Rugosidad

Rugosidad (IRI, m/km)	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano
2.0	183.099	532.046	480.615	730.813	1412.044
4.0	186.104	541.382	488.555	746.935	1433.041
6.0	193.233	550.491	503.992	797.633	1470.695
8.0	202.263	575.609	520.455	863.418	1506.319
10.0	210.887	592.686	536.871	926.030	1542.254
12.0	218.698	609.954	553.432	982.001	1580.189
14.0	225.942	628.031	570.480	1032.730	1622.075
16.0	233.036	647.598	588.567	1080.628	1670.292
18.0	240.444	669.787	608.445	1128.140	1727.215
20.0	247.443	695.347	628.557	1167.809	1792.599

Coefficientes de Polinomio Cúbico de Costos Unitarios de Usuario

Coefficiente	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano
a0	178.11597	516.89790	469.10250	701.66086	1377.20649
a1	1.53791	6.55395	4.52346	6.43160	15.89197
a2	0.23042	0.06280	0.25578	2.19620	-0.16513
a3	-0.00678	0.00266	-0.00424	-0.06819	0.02028

4.2.2.5 **Sensibilidad en la Velocidad Límite**

Esta hoja presenta una tabla de sensibilidad en la velocidad límite de costos de usuario y los coeficientes de los polinomios de tercer grado relacionando la velocidad límite a los costos.

Figura 19 Resultados de Análisis de Sensibilidad en la Velocidad Límite

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Condición de la calzada				Geometría de la calzada			
Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Gravel/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)	
4.6	10.2	1	1	1	3	2.0	

Factores de Ajuste de Velocidad			Factores de Resistencia a la Rodadura				
Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)		
1.00	0.80	1.00	48	0	0.70		

Sensibilidad de Costos Unitarios de Usuario debido a la Velocidad Límite (\$/vehículo-km)

Velocidad Límite (km/hora)	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
20.0	194.925	572.824	511.191	775.780	1524.612	2675.676	3823.764	1017.080	1298.881	1746.336	2251.398
30.0	194.925	572.824	511.191	775.780	1524.612	2675.676	3823.764	1017.080	1298.881	1746.336	2251.398
40.0	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
50.0	163.915	460.421	432.464	661.024	1203.788	2069.056	2931.329	839.770	1099.079	1466.736	1930.020
60.0	152.291	414.594	402.629	617.704	1068.201	1795.148	2551.427	768.714	1022.030	1360.740	1814.355
70.0	145.777	384.866	384.427	590.331	976.596	1613.284	2291.266	723.929	975.323	1297.439	1752.362
80.0	142.693	365.650	373.883	574.887	913.382	1483.440	2107.174	696.556	948.705	1262.878	1728.698
90.0	141.927	353.881	368.796	566.356	869.834	1388.979	1975.116	681.537	936.562	1249.550	1735.638
100.0	142.543	347.598	367.815	563.397	840.524	1319.918	1880.907	675.523	935.521	1253.165	1769.198
110.0	143.734	345.356	369.998	564.719	821.685	1269.836	1815.743	675.930	943.288	1271.100	1827.073

Sensibilidad de la Velocidad de Operación debido a la Velocidad Límite (km/hora)

Velocidad Límite (km/hora)	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
30.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
40.0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
50.0	34.3	34.4	34.4	34.4	34.3	34.4	34.4	34.3	34.4	34.4	34.4
60.0	41.1	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.3	41.2	41.2	41.3	41.3

4.2.2.6 Coeficientes RNET

Esta hoja presenta los coeficientes de los polinomios de tercer grado relacionando la rugosidad a los costos de usuario de la flota vehicular, para los diferentes niveles de tráfico.

Figura 20 Cálculo de Coeficientes de RNET

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Condición de la calzada				Geometría de la calzada			
Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Gravel/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)	
6.0	10.2	1	1	1	3	2.0	

Factores de Ajuste de Velocidad			Factores de Resistencia a la Rodadura				
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del Tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)	
60	1.00	0.80	1.00	48	0	0.70	

Promedio de Costos Unitarios de Usuario de la Flota Vehicular debido a la Sensibilidad por Rugosidad Coeficientes de Polinomio de Tercer Grado para Diferentes Niveles de Tráfico

Nivel de Tránsito	Promedio de Costos de Usuario de la Flota Vehicular (\$/vehículo-km) = a0 + a1 * IRI + a2 * IRI^2 + a3 * IRI^3								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Tránsito diario (TPDA)	5	20	65	200	650	2,000	6,500	20,000	65,000
a0	1188.977	1188.977	1188.98	1188.977006	1188.977006	1188.98	1194.38992	1252.48	1298.55327
a1	19.685299	19.685299	19.6853	19.68529876	19.68529876	19.6853	19.88204764	13.1777	14.56544
a2	-0.106344	-0.106344	-0.10634	-0.10634385	-0.10634385	-0.10634	-0.136524966	0.75673	0.69171
a3	0.0140106	0.0140106	0.01401	0.014010606	0.014010606	0.01401	0.015388644	-0.01716	-0.02252

4.2.2.7 Sensibilidad en el Tráfico

Esta hoja presenta una tabla de sensibilidad en el tráfico diario de costos de usuario y los coeficientes de los polinomios de tercer grado relacionando el tráfico diario a los costos.

Figura 21 Resultados de Análisis de Sensibilidad en el Tráfico

Sistema de Cálculo de Costos de Usuario

Datos de País

Nombre de País	Moneda	Año
Bogotá	\$	2010

Características de la Vía

Condición de la calzada				Geometría de la calzada		
Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)	Subidas y Bajadas (m/km)	Número de Subidas y Bajadas por km (#)	Curvatura Horizontal (grados/km)	Peralte (%)
4.6	10.2	1	1	1	3	2.0

Factores de Ajuste de Velocidad				Factores de Resistencia a la Rodadura		
Velocidad Límite (km/hora)	Factor de cumplimiento de Velocidad Límite (#)	Fricción de la Vía (#)	Fricción del tránsito No Motorizado (#)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Agua (%)	Porcentaje del Tiempo que se conduce sobre Nieve (%)	Profundidad de Textura de Vías Pavimentadas (mm)
60	1.00	0.80	1.00	48	0	0.70

Sensibilidad de Costos Unitarios de Usuario debido al Tráfico (\$/vehículo-km)

Tráfico Diario	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
5	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
20	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
65	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
200	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
650	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
2.000	183.891	533.514	481.918	732.587	1414.614	2465.217	3518.749	954.825	1227.239	1643.841	2131.682
6.500	184.563	535.913	483.575	735.008	1421.461	2478.343	3537.812	958.683	1231.600	1649.822	2138.856
20.000	189.917	554.956	496.815	754.437	1475.648	2582.087	3688.667	989.524	1266.627	1697.733	2197.344
65.000	195.605	574.858	513.246	781.393	1529.770	2682.220	3838.408	1028.378	1313.468	1759.344	2302.241

Coeficientes de Polinomio Cúbico de Costos Unitarios de Usuario debido a la Sensibilidad por Tráfico

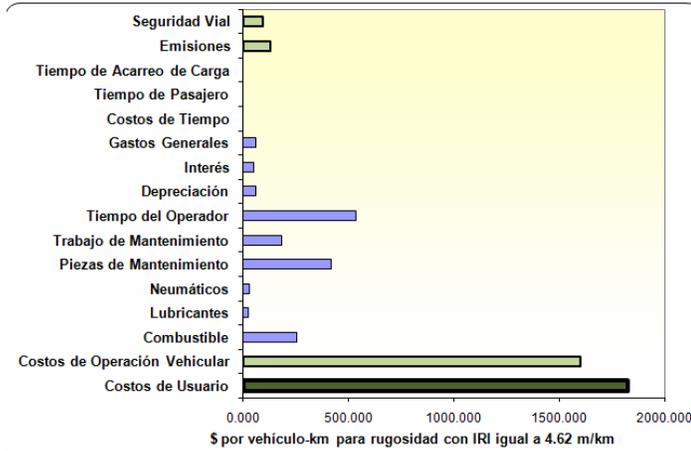
Coeficiente	Costos Unitarios de Usuario (\$/vehículo-km) = c0 + c1 * Tráfico Diario + c2 * Tráfico Diario ² + c3 * Tráfico Diario ³										
	Motocicleta	Taxi	Liviano Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande	Camión Liviano	Camión Mediano	Camión Grande	Camión Articulado
c0	183.89214	533.51626	481.92048	732.59069	1414.62017	2465.22829	3518.76713	954.83008	1227.24578	1643.84854	2131.69518
c1	-3.3E-05	-1.2E-04	-8.0E-05	-1.2E-04	-3.3E-04	-6.2E-04	-9.1E-04	-1.9E-04	-2.1E-04	-2.9E-04	-3.6E-04
c2	2.3E-08	8.1E-08	5.6E-08	8.1E-08	2.3E-07	4.4E-07	6.4E-07	1.3E-07	1.5E-07	2.0E-07	2.4E-07
c3	-3.0E-13	-1.1E-12	-7.2E-13	-1.0E-12	-3.0E-12	-5.8E-12	-8.5E-12	-1.7E-12	-1.9E-12	-2.6E-12	-3.0E-12

4.2.2.8 Gráficos de Un Vehículo

Presenta gráficos de los costos de usuario para un vehículo en particular. Los gráficos mostrados son: 1) costos de usuario y componentes, 2) sensibilidad de costos de usuario en la rugosidad, 3) sensibilidad de costos de usuario en la velocidad límite y 4) sensibilidad de costos de usuario en el tráfico.

Figura 22 Gráficos de Costos de Usuario para un tipo de vehículo

Costos de Usuario para Camión Mediano

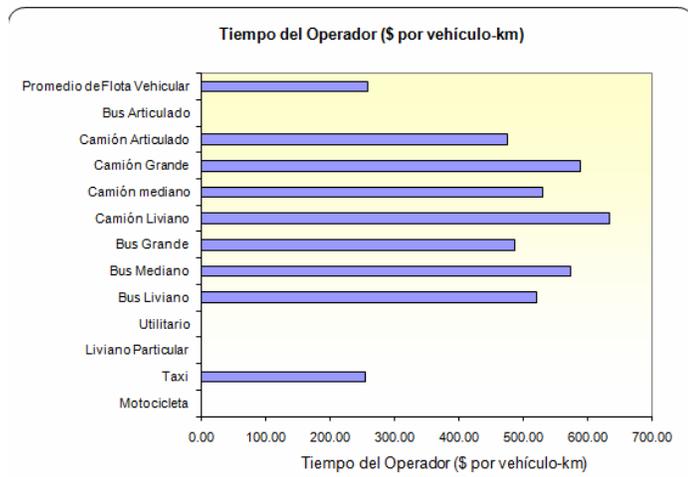


4.2.2.9 Gráficos de Todos los Vehículos

Los gráficos mostrados son: 1) gráfico de todos los vehículos para el indicador seleccionado, 2) sensibilidad de costos de usuario en la rugosidad para todos los vehículos, 3) sensibilidad de costos de usuario en la velocidad límite para todos los vehículos y 4) sensibilidad de costos de usuario en el tráfico para todos los vehículos.

Figura 23 Gráficos de Costos de Usuario para todos los vehículos

Tiempo del Operador (\$ por vehículo-km)



4.2.2.10 Costos de Usuario en la Red

Esta hoja presenta los resultados de la Evaluación de Costos de Usuario de la Red Vial hecha y contiene las características básicas de la vía y las velocidades, costos de usuario, emisiones de CO2, accidentes fatales y daños serios resultantes.

Figura 24 Costos de Usuario en una red vial

Costos de Usuario en Red

ID de calzada	Descripción de calzada	Longitud de tramo (km)	Condición de la calzada			Velocidad de Flota Vehicular (km/hora)	Costos de Usuario (M\$/año)	Emisiones de CO2 (tonelada/año)	Accidentes Fatales (#/año)	Lesiones Graves (#/año)	Costos Unitarios de Usuario (\$/ve)							
			Rugosidad de la calzada (IRI, m/km)	Ancho de la calzada (m)	Superficie (1-Asfalto/ 2- Concreto 3- Grava/ 4 - Tierra)						Tránsito Diario	Motocicleta	Taxi	Particular	Utilitario	Bus Liviano	Bus Mediano	Bus Grande
							39362.47	15.543	4.4	43.8								
RD1	Via 1	100.0	2.0	7.0	1	200	96.9	5662.88	2.968	0.7	7.3	145.099	352.864	404.436	610.366	795.040	1171.715	1745.178
RD2	Via 2	100.0	4.0	7.0	2	200	95.5	5837.32	2.955	0.7	7.3	148.132	362.829	411.503	624.081	817.592	1215.570	1796.603
RD3	Via 3	100.0	6.0	7.0	3	200	85.2	6279.92	2.930	0.7	7.3	168.502	402.309	436.804	673.495	887.709	1332.894	1931.785
RD4	Via 4	100.0	8.0	7.0	4	200	71.9	6705.34	2.586	0.7	7.3	180.559	421.250	439.239	723.045	946.939	1484.286	2140.454
RD5	Via 5	100.0	10.0	7.0	1	200	60.1	7060.89	2.079	0.7	7.3	168.090	412.015	422.842	759.377	998.576	1649.801	2395.008
RD6	Via 6	100.0	12.0	7.0	1	200	50.4	7816.12	2.025	0.7	7.3	177.467	448.099	447.875	830.386	1103.746	1866.687	2725.211

4.2.2.11 Resultados Análisis Costo Beneficio

La hoja presenta los datos anuales para la alternativa sin proyecto y la alternativa con proyecto, que consiste en los costos de intervenciones en la vía, costos totales y emisiones de CO2. También presenta la comparación de las alternativas de proyecto en términos de Valor Total y Presente, en la tasa de descuento ingresada. Resume los resultados mostrando el Valor Presente Neto del proyecto, la Tasa Interna de Retorno y la disminución en CO2 total sobre el período de evaluación implementando la alternativa con proyecto.

Figura 25 Resultados de análisis Costo – Beneficio en alternativas de proyecto

Resultados de Análisis Costo Beneficio

Datos Anuales de Alternativa Sin Proyecto

Año	Costos de Intervenciones en la calzada (M\$)			Costos de Usuario (M\$)	Costos Totales a Sociedad (M\$)	Emisiones de CO2 (toneladas)
	Costos de Rehabilitación /Reconstrucción	Costos de Mantenimiento	Costos Totales			
1	0.000	0.024	0.024	4525.776	4525.800	2.590
2	0.000	0.024	0.024	4674.803	4674.827	2.666
3	0.000	0.024	0.024	4838.169	4838.193	2.744
4	0.000	0.024	0.024	5009.114	5009.138	2.823
5	0.000	0.024	0.024	5192.050	5192.074	2.899
6	0.000	0.025	0.025	5396.556	5396.581	2.959
7	0.000	0.025	0.025	5602.462	5602.487	2.996
8	0.000	0.025	0.025	5814.479	5814.504	2.985
9	0.000	0.026	0.026	6043.005	6043.030	2.880
10	0.000	0.026	0.026	6330.515	6330.541	2.693
11	2.240	0.024	2.264	6761.784	6764.048	2.518
12	0.000	0.024	0.024	6237.820	6237.844	3.582
13	0.000	0.024	0.024	6426.557	6426.581	3.691
14	0.000	0.024	0.024	6620.345	6620.369	3.802
15	0.000	0.024	0.024	6819.867	6819.891	3.917
16	0.000	0.024	0.024	7025.481	7025.505	4.035
17	0.000	0.024	0.024	7237.720	7237.744	4.157
18	0.000	0.024	0.024	7456.348	7456.372	4.282
19	0.000	0.024	0.024	7682.068	7682.092	4.411
20	0.000	0.024	0.024	4674.803	4674.827	2.666
Total Valor Presente	2.240	0.486	2.726	120369.722	120372.448	65.297
	0.721	0.204	0.925	46300.368	46301.293	

Datos Anuales de Alternativa Con Proyecto

Año	Costos de Intervenciones en la Calzada (M\$)			Costos de Usuario (M\$)	Costos Totales a Sociedad (M\$)	Emisiones de CO2 (toneladas)
	Costos de Rehabilitación /Reconstrucción	Costos de Mantenimiento	Costos Totales			
1	0.000	0.024	0.024	4838.169	4838.193	2.744
2	0.000	0.024	0.024	5009.114	5009.138	2.823
3	0.000	0.024	0.024	5192.050	5192.074	2.899
4	0.000	0.024	0.024	5226.625	5226.649	3.002
5	0.000	0.024	0.584	5384.421	5385.005	3.093
6	0.000	0.024	0.024	5547.218	5547.242	3.186
7	0.000	0.024	0.024	5715.317	5715.341	3.282
8	0.000	0.024	0.024	5889.403	5889.427	3.381
9	0.000	0.024	0.024	6069.711	6069.735	3.483
10	0.000	0.024	0.024	6259.864	6259.888	3.588
11	0.000	0.024	0.024	6463.346	6463.370	3.694
12	0.000	0.024	0.024	6697.567	6697.591	3.802
13	0.000	0.024	0.024	6956.688	6956.712	3.905
14	0.000	0.024	0.024	7219.682	7219.706	4.002
15	0.000	0.025	0.025	7235.196	7235.221	4.156
16	0.560	0.024	0.584	7453.657	7454.241	4.281
17	0.000	0.024	0.024	7679.069	7679.093	4.411
18	0.000	0.024	0.024	7911.856	7911.880	4.544
19	0.000	0.024	0.024	2.896	2.920	3.961
20	0.000	0.024	0.024	2.984	3.008	4.082
Total Valor Presente	1.120	0.481	1.601	112754.835	112756.436	72.318
	0.458	0.201	0.659	46702.328	46702.987	

5. CALIBRACIÓN DE MODELOS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

El submodelo de “Efectos de usuarios de la vía” definido en el HDM-4 está compuesto por los costos de operación vehicular, los tiempos de viaje, las emisiones de los vehículos, seguridad y energía en conjunto con los efectos del desarrollo. Para el presente estudio, principalmente costos de operación vehicular y tiempos de viaje fueron considerados.

De estudios desarrollados durante la construcción y actualización del HDM-4 se ha encontrado que los efectos sobre los usuarios se encuentran influenciados principalmente por la velocidad de los vehículos y la rugosidad de la vía, los cuales a su vez influyen los demás parámetros contenidos en este modelo, como ejemplo, el consumo de combustible es altamente influenciado por la velocidad de los vehículos mientras que la influencia debido a la rugosidad es despreciable.

Dentro del alcance del contrato, los diferentes modelos fueron calibrados y adaptados a las condiciones locales en la ciudad de Bogotá:

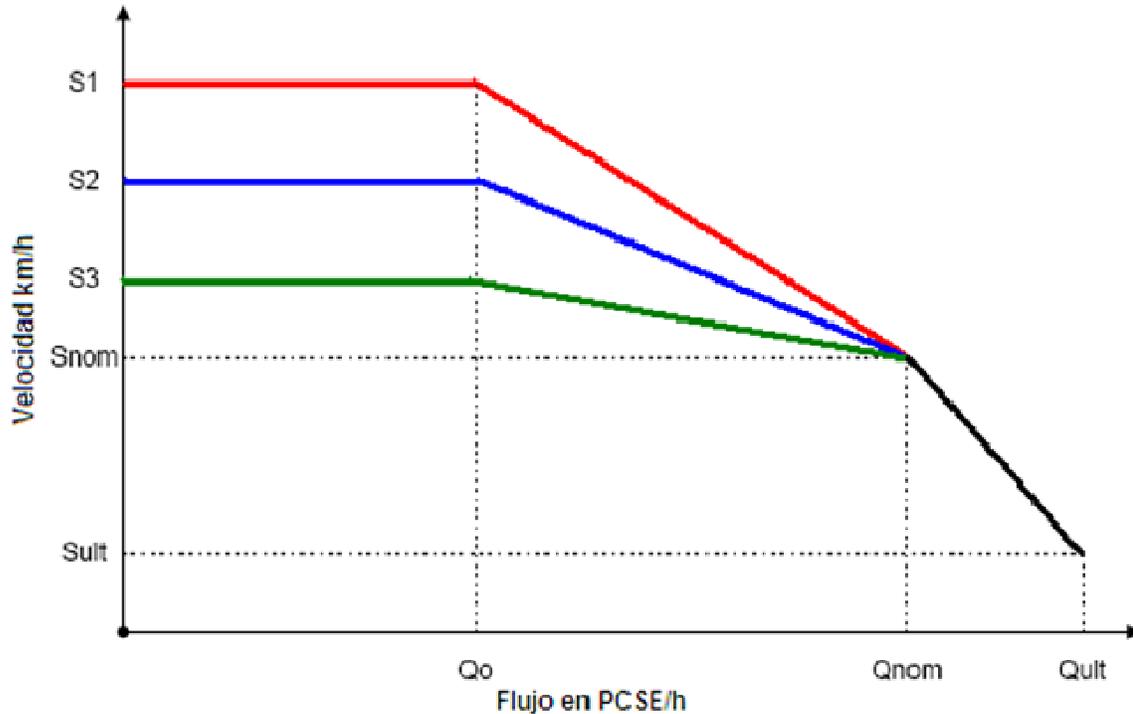
- Velocidad – Rugosidad: Calibración de la velocidad a flujo libre restringida por la rugosidad.
- Flujo – Velocidad

Como resultado de la calibración se definieron los parámetros de flujo y velocidad requeridos como dato de entrada para la evaluación de costos de usuarios. A continuación se hace una breve descripción del modelo flujo –velocidad, el cual es el modelo primario que debe ser calibrado para poder obtener resultados reales y acordes con la realidad de la ciudad.

5.1 CALIBRACIÓN MODELO FLUJO - VELOCIDAD.

El modelo flujo- velocidad empleado en el HDM-4 corresponde al modelo presentado por Hoban, el cual se encuentra basado en la predicción de la velocidad libre y cinco parámetros adicionales que varían según el tipo de clase (Figura 26).

Figura 26 Modelo Flujo Velocidad del HDM-4



En donde

Qult: Capacidad última de la vía

Qnom: capacidad nominal donde todos los vehículos viajan a la misma velocidad

Q0: flujo en donde la interacción vehicular comienza.

Snom: Velocidad a la capacidad nominal

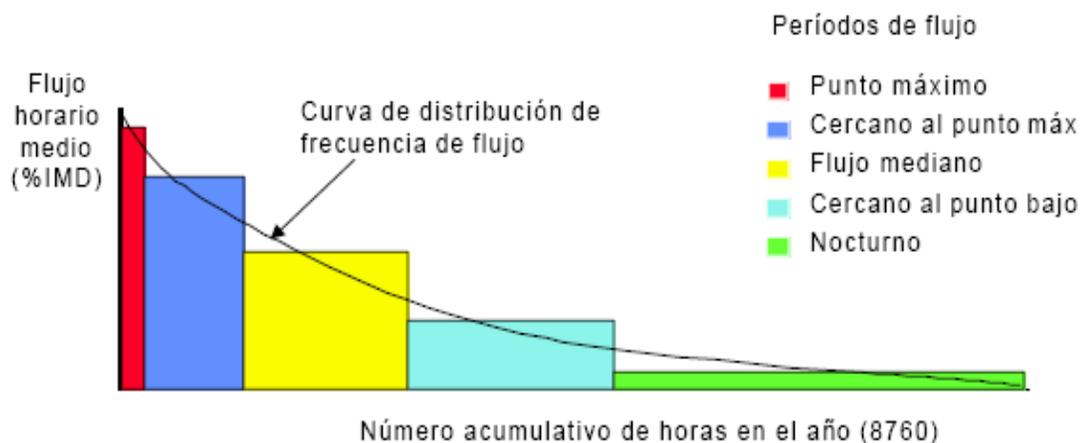
Sult: Velocidad a la capacidad última.

5.1.1 PERÍODOS DE TOMA DE INFORMACIÓN

En una vía, especialmente urbana, se presentan diferentes niveles de congestión vehicular a diferentes horas del día y en diferentes días de la semana y del año. Esta variación está dada por la curva de distribución horaria de flujo de tráfico (Ver figura) que puede ser la misma para diferentes corredores viales con patrones similares de comportamiento.

Para la calibración se realizaron mediciones de tiempos de recorrido en diferentes tipologías de corredores, en cada uno de los cuales se midió la velocidad tanto para vías sin cruces como vías semaforizadas.

Figura 27 Distribución horaria de la frecuencia de flujo – HDM-4



La identificación de los 10 corredores de flujo vehicular, la definición del período de flujo vehicular y el horario de toma de información se presenta a continuación:

Tabla 2. Horario toma de información

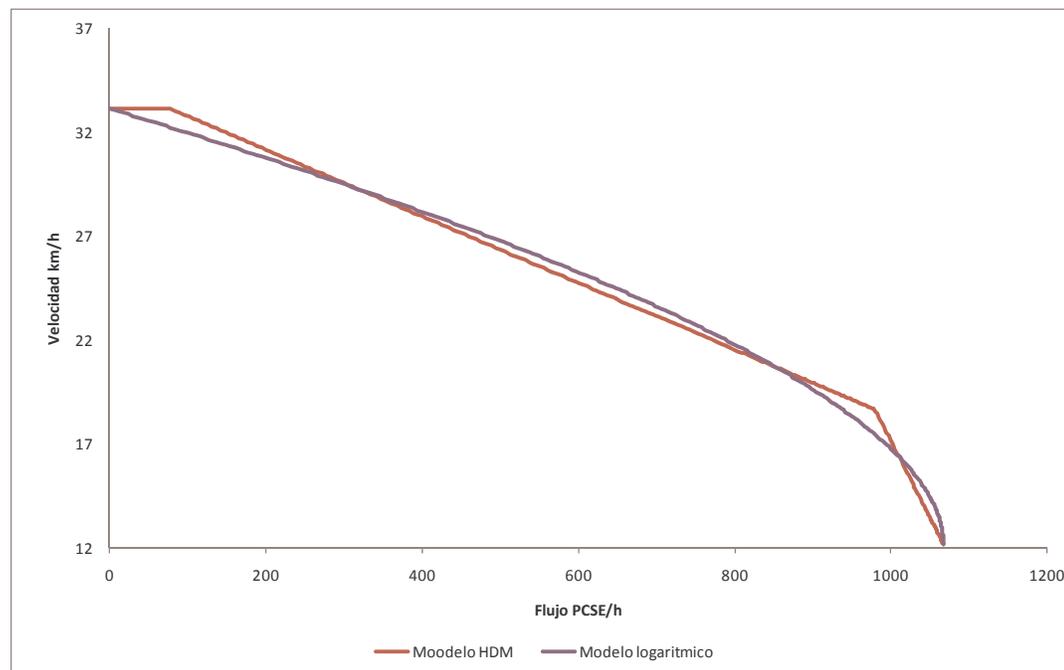
Corredor	NOMENCLATURA NUEVA			PERÍODOS DE TOMA DE INFORMACIÓN			
	Nomenclatura	Desde	Hasta	Bajo	Medio	Alto	Pico
1	Calle 140	Av. Carrera 9	Av. Carrera 15 (Caño)	03:00 - 04:00	06:15 - 07:15	09:45 - 10:45	17:00 - 18:00
2	Av. Sumapáz	Sector de la	Regadera	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00
3	Av. Cra 19	Calle 159	Calle 146	04:30 - 05:30	06:15 - 07:15	10:15 - 11:15	08:00 - 09:00
4	Av. Suba	Av. Boyacá	Carrera 91 (antes Carrera 93)	03:30 - 04:30	06:15 - 07:15	09:45 - 10:45	17:00 - 18:00
5	Calle 142	Av. Cra 19	Carrera 13	04:30 - 05:30	06:15 - 07:15	08:00 - 09:00	10:15 - 11:15
6	Av. Carrera 14 (Caracas)	Carrera 6A	Calle 65 D sur (portal Usme)	03:45 - 04:45	08:30 - 09:30	11:00 - 12:00	06:45 - 07:45
7	Calle 13	Av. Caracas	Av. NQS	04:30 - 05:30	05:45 - 06:45	10:45 - 11:45	07:15 - 08:15
8	Autopista Norte	Calle 116	Calle 127	03:45 - 04:45	06:15 - 07:15	09:45 - 10:45	17:00 - 18:00
9	Av. Boyacá	Calle 160	Calle 133	04:30 - 05:30	05:45 - 06:45	10:00 - 11:00	08:15 - 09:15
10	Av. Américas	Carrera 78H (antes Carrera 76)	Carrera 68	03:45 - 04:45	06:00 - 07:00	11:30 - 12:30	07:30 - 08:30

5.1.2 CALIBRACIÓN A PARTIR DE INFORMACIÓN DE CAMPO: MODELO MATEMÁTICO – HDM – 4

Los valores de q_o , q_{nom} , y v_{nom} son aquellos que minimicen la suma de errores cuadrados entre el modelo calibrado y el modelo HDM. Este procedimiento se realiza evaluando ambas funciones en 300 valores diferentes de velocidad. El resultado obtenido da como resultado los valores de estos tres parámetros que hacen que el modelo de HDM se ajuste mejor a la función calibrada. Para ilustrar lo anterior en la se muestra el modelo logarítmico hallado para uno de los corredores calibrados y el modelo HDM hallado con los valores de q_o , q_{nom} , y v_{nom} que minimiza la suma errores cuadrados entre estos dos modelos.

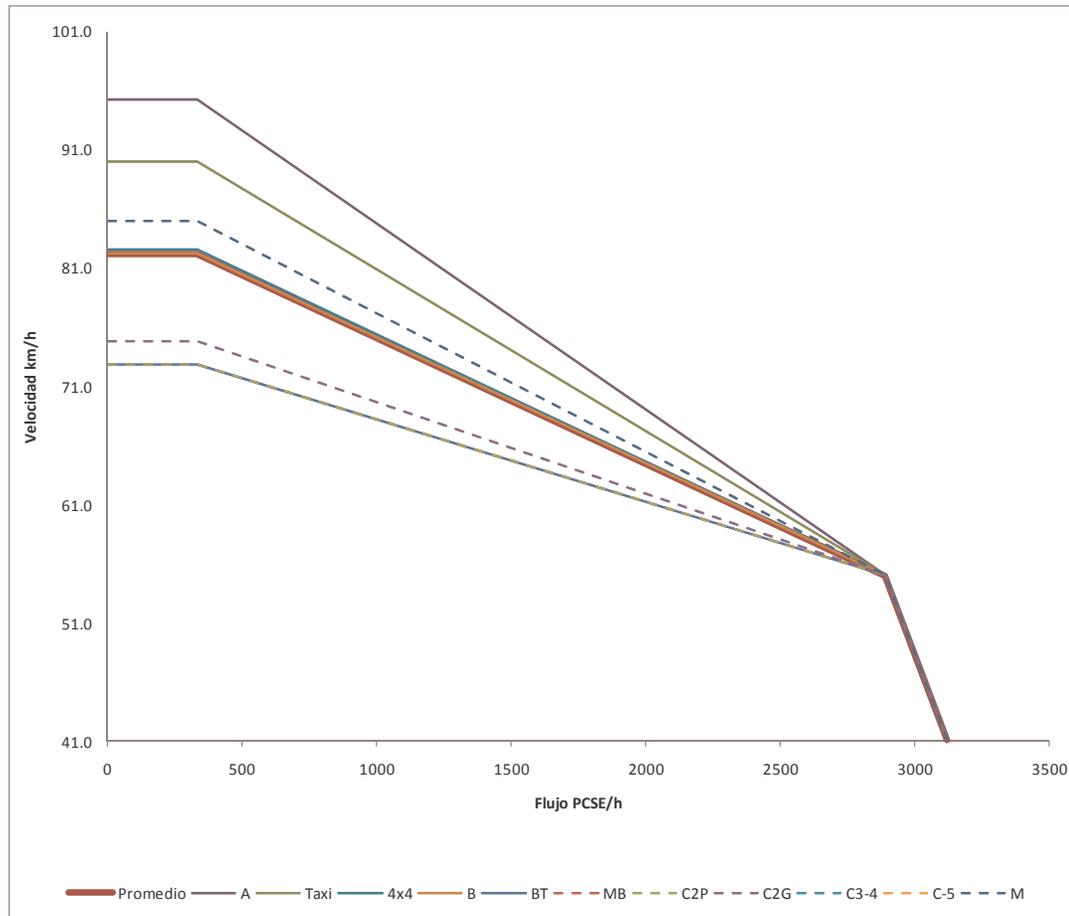
Figura 5.28 Gráfica corredor 3

Figura 29 Gráfica del modelo logarítmico y del modelo HDM para el Corredor Av. 19



Con esta información, se definen los parámetros básicos para poder establecer la curva del modelo flujo-velocidad con los parámetros claves. A continuación se presenta la curva obtenida para el corredor de la Autopista Norte entre Calle 116 y Calle 127 calzada rápida, definida por tipo de vehículo.

Figura 30 Diagrama flujo velocidad HDM para el corredor Autopista Norte



5.2 VALORES RECOMENDADOS A INGRESAR EN LA HERRAMIENTA

Con base en los resultados de la calibración del modelo flujo-velocidad y de la velocidad-rugosidad, se recomiendan los siguientes valores para incluir en la hoja de entrada "E-características Vía" según el tipo de vía, cuando no se cuente con información detallada del corredor

5.2.1 PATRÓN FLUJO DE TRÁFICO

De los 10 corredores en los que se calibraron el modelo flujo-velocidad se definió el patrón del flujo de tráfico con base en la información obtenida de las estaciones maestras, la cual se presenta a continuación en la siguiente tabla



Tabla 3 Patrones de flujo de tráfico para 10 corredores

Corredor	Uso de la Vía	Porcentaje de Tráfico Anual en Cada Período					Patrón de Flujos
		Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)	Período 5 (%)	
		16.13	21.51	19.35	29.03	13.98	
Av. SUMAPAZ (USME - SUMAPAZ)	Vía Rural (afirmado y 2 carriles)	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	26.88	21.51	15.05	19.35	17.20	
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	16.13	21.51	19.35	29.03	13.98	
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE 65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles sematORIZADA	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sematORIZADA	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles sematORIZADA	17.20	13.98	13.98	34.41	20.43	
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles sematORIZADA	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles sematORIZADA	20.21	20.21	22.34	26.60	10.64	
Corredor	Uso de la Vía	Número de Horas Por Año en Cada Período					
		Período 1 (#)	Período 2 (#)	Período 3 (#)	Período 4 (#)	Período 5 (#)	
		1412.90323	1883.87097	1695.48387	2543.22581	1224.51613	
Av. SUMAPAZ (USME - SUMAPAZ)	Vía Rural (afirmado y 2 carriles)	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	2354.83871	1883.87097	1318.70968	1695.48387	1507.09677	
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	1412.90323	1883.87097	1695.48387	2543.22581	1224.51613	
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE 65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles sematORIZADA	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sematORIZADA	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles sematORIZADA	1507.09677	1224.51613	1224.51613	3014.19355	1789.67742	
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles sematORIZADA	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles sematORIZADA	1770.6383	1770.6383	1957.02128	2329.78723	931.914894	

De la anterior tabla, se observa un comportamiento similar para los diferentes corredores, por lo que se establece un valor promedio para adoptar como patrones de flujo de tráfico (ver siguiente tabla)

Tabla 4. Valor promedio de patrón de flujo de tráfico

Uso de la Vía	Patrón de Flujo de Tráfico				
	Porcentaje de Tráfico Anual en Cada Período				
	Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)	Período 5 (%)
Promedio	19.76	19.98	20.18	27.14	12.94

Para los períodos 1, 2 y 3 de tráfico se observa un porcentaje similar, por lo que se decide adoptar un valor medio para cada uno de esos períodos, para los períodos 4 y 5 se redondean a la unidad los valores para facilidad de manejo. Los valores recomendados para adoptar se presentan a continuación:

TABLA 5 Valores recomendados de tráfico anual en cada período

Uso de la Vía	Patrón de Flujo de Tráfico				
	Porcentaje de Tráfico Anual en Cada Período				
	Período 1 (%)	Período 2 (%)	Período 3 (%)	Período 4 (%)	Período 5 (%)
Promedio	20	20	20	27	13

Uso de la Vía	Patrón de Flujo de Tráfico				
	Número de Horas Por Año en Cada Período				
	Período 1 (#)	Período 2 (#)	Período 3 (#)	Período 4 (#)	Período 5 (#)
Promedio	1752	1752	1752	2365	1139

En el caso de los resultados de los parámetros de flujo y velocidad determinados con el modelo, se presenta a continuación los valores obtenidos según el tipo de vía, número de carriles, sentido de la vía y la presencia o no de intersecciones semaforizadas (Ver Tabla 6). Para facilidad de manejo, se recomiendan los valores redondeados en la Tabla 7.

Tabla 6 Resultados parámetros tipo de velocidad de tráfico 10 corredores

Corredor	Tipo de Carretera	Tipo de Velocidad de Tráfico				
		Capacidad Máxima (pcse/hora/carril)	Capacidad de Flujo Libre (pcse/hora/carril)	Capacidad Nominal (pcse/hora/carril)	Velocidad de embotellamiento máxima Capacidad Carriles (#) (km/hora)	
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	2161	156	1983	26.2	2
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	3120	330	2890	26.8	3
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	3972	293	3652	28.1	4
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE 65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	1694	90	1568	32	4
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles sematforizada	1088	28	702	8.6	2
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sematforizada	1524	74	932	17	4
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles sematforizada	1067	77	979	5.6	2
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles sematforizada	1287	93	1181	12.2	3
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles sematforizada	1522	161	1410	12.3	4

Tabla 7 Valores recomendados de los parámetros de tipo de velocidad de tráfico

Corredor	Tipo de Carretera	Tipo de Velocidad de Tráfico				
		Capacidad Máxima (pcse/hora/carril)	Capacidad de Flujo Libre (pcse/hora/carril)	Capacidad Nominal (pcse/hora/carril)	Velocidad de embotellamiento máxima Capacidad Carriles (#) (km/hora)	
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	2200	160	2000	27	2
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	3200	330	2900	27	3
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	4000	300	3700	27	4
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE 65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	1700	90	1600	32	4
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles sematforizada	1100	30	700	10	2
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sematforizada	1600	80	900	17	4
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles sematforizada	1000	80	950	8	2
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles sematforizada	1300	100	1200	12	3
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles sematforizada	1600	170	1400	12	4

Finalmente, teniendo en cuenta que las vías se ven afectadas por las intersecciones semaforizadas las cuales reducen su capacidad y velocidad a flujo libre, se realizó un análisis de sensibilidad con el fin de determinar el factor de ajuste de velocidad de operación debido a la congestión y a la semaforización. Los resultados de ese análisis de sensibilidad se presentan a continuación:

Tabla 8 ajuste factor de velocidad de operación debido a congestión y semaforización

Corredor	Tipo de Carretera	Factor de ajuste de velocidad de operación (#)	vflujo libre obtenida en mediciones	IRI medido
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	1.05	71.2	4.282
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	1.1	82.2	2.991
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	1.2	72.8	3.317
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	1.05	63.8	4.117
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles semaforizada	0.4	23.5	4.621
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles semaforizada	0.8	46	7.963
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles semaforizada	0.6	33.1	4.248
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles semaforizada	0.3	15.3	3.308
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles semaforizada	0.4	24.5	3.245

De aquí se encontró que el factor de ajuste de velocidad de operación para los corredores sin cruces tenía una pequeña variación dentro del rango entre 1.05 y 1.2 por lo que se recomienda adoptar el valor de 1.1. para este tipo de vías; para vías semaforizadas se debe tomar el valor recomendado según el tipo de vía.

Tabla 9 Valores recomendados factor de ajuste de velocidad de operación

Corredor	Tipo de Carretera	Factor de ajuste de velocidad de operación (#)
Av. SUBA ENTRE Av. BOYACÁ Y CARRERA 91	Calzada Unidireccional de dos carriles sin cruces	1.1
AUTOPISTA NORTE ENTRE Av. CALLE 100 Y Av. CALLE 127	Calzada Unidireccional de tres carriles sin cruces	1.1
Av. AMÉRICAS ENTRE Av. 68 Y CARRERA 78H	Calzada de cuatro o más carriles sin cruces	1.1
Av. CARACAS ENTRE CARRERA 6A Y CALLE65DSUR	Calzada Bidireccional con cuatro carriles sin cruces	1.1
CALLE 140 ENTRE CARRERA 9 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional de dos carriles semaforizada	0.4
CALLE 142 ENTRE CARRERA 13 Y CARRERA 19	Calzada Bidireccional con cuatro carriles semaforizada	0.8
AVENIDA CARRERA 19 ENTRE CALLE 153 Y CALLE 142	Calzada Unidireccional de dos carriles semaforizada	0.6
Av. CALLE 13 ENTRE Av. CARACAS Y Av. NQS	Calzada Unidireccional de tres carriles semaforizada	0.3
Av. BOYACÁ ENTRE CALLE 134 Y CALLE 160	Calzada unidireccional de cuatro o más carriles semaforizada	0.4

6. ESTIMACION DE COSTOS DE USUARIOS DE ACUERDO A LA ADAPTACION DEL MODELO UTILIZADO.

Para llevar a cabo una evaluación económica, se debe calcular el flujo de costos y beneficios de un proyecto; estos beneficios generalmente se expresan como la reducción en los costos de transporte por lo cual se considera esencial contar con un mecanismo que permita predecir los costos de transporte bajo diferentes estrategias de inversión.

El costo del transporte generalmente hace referencia a los costos de operación vehicular (VOC), los cuales están en función de:

- ✓ Consumo de combustible
- ✓ Consumo de llantas
- ✓ Consumo de aceite y lubricantes
- ✓ Consumo de partes
- ✓ Horas de trabajo
- ✓ Depreciación
- ✓ Sobrecostos.

Sin embargo de estudios liderados por el Banco Mundial en países desarrollados como Estados Unidos y en países en desarrollo como Kenia, Brasil y el Caribe se encontró que los **costos de los usuarios** de la vía estaban ligados no solamente a los costos de operación vehicular sino también a los siguientes costos:

- ✓ Costos de tiempo de viaje de vehículos motorizados: tiempos de viaje sin congestión, demoras debido a la congestión, demoras debido a las obras viales
- ✓ Costos de tiempo de vehículos no motorizados: tiempos de viaje, costos de operación, impacto sobre el tráfico motorizado
- ✓ Costo de accidentes: muertes, heridos graves, pequeños daños.
- ✓ Impacto ambiental: emisiones vehiculares, ruido y uso de energía.

Se encontró que estos componentes de los efectos en los usuarios se encuentran relacionados con los modelos de flujo-velocidad, consumo de combustible, consumo de llantas entre otros; con esta información se desarrollaron las ecuaciones que relacionan estos modelos, obteniéndose la herramienta RUC desarrollada por el Banco Mundial. Cabe anotar que esta herramienta no cuenta con un modelo de

mantenimiento, partes y mano de obra desarrollado debido a la escasa investigación que se ha hecho en esas áreas.

El modelo de los costos de Usuarios de la vía ha sido analizado y se encontró el impacto de cada uno de los componentes sobre los costos, el cual se presenta en la siguiente figura:

Tabla 10 Impacto de los componentes de los Costos de Usuarios

Componente de los efectos de los usuarios en la vía		Impacto de Costo		
		Alto	Medio	Bajo
Costos de Operación Vehicular	Combustible	✓		
	Aceite			✓
	Llantas			✓
	Mantenimiento y Reparación		✓	
	Depreciación e intereses		✓	
Costo de demoras	Demoras en las obras		✓	
	Demoras debido a la congestión	✓		
	Demoras en las intersecciones		✓	
Accidentalidad	Costos directos			✓
	Costos Indirectos		✓	

Fuente: Volumen 7 – Manual HDM-4

Como resultado de la calibración, se obtuvieron los costos de usuarios para cada uno de los 10 corredores, expresados en costos financieros y costos económicos. Esta información se presenta en el Anexo 5

7. REALIZACIÓN DE LOS TERMINOS DE REFERENCIA PARA LA CONTRATACIÓN DEL DESARROLLO DEL MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

El modelo de evaluación económica que se deberá desarrollar, diseñar e implementar en Bogotá permitir decidir a qué infraestructuras se les da prioridad, si se invierte en nueva construcción o en mantenimiento, en qué zonas y en qué momento del tiempo, son elecciones vitales para el futuro de la ciudad. Este análisis económico debe incluir las siguientes operaciones:

1. Identificación del problema que debe ser resuelto y formulación de las alternativas.
2. Identificación y cuantificación de los costos y beneficios del ciclo de vida en los que se incurrirá.
3. Modelización de los impactos futuros sobre la carretera y el flujo del tráfico, de las alternativas propuestas.
4. Comparación económica de las diferentes alternativas, incluyendo:
 - a. descuento de los flujos anuales de costos y beneficios en un año base elegido
 - b. comparación del flujo de costos entre cada par de alternativas
 - c. cálculo de los indicadores económicos como valor actual neto, tasa interna de reembolso, relación beneficio-costos y beneficios en el primer año.

La metodología simplificada para evaluar proyectos de Mantenimiento Vial Urbano, está orientada a la formulación de un conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo el buen estado de una vía, gestión de pavimentos. Ello implica considerar una serie de etapas denominadas como las funciones de un sistema de gestión de pavimentos, las cuales se mencionan en forma resumida a continuación.

- **PLANIFICACIÓN**

Comprende el análisis de la malla vial en conjunto, realizando una predicción de las necesidades que requiere cada vía dentro de la red vial a mediano y largo plazo, representada mediante un presupuesto que estará bajo diferentes supuestos económicos.

En la etapa de planificación, el sistema físico de carreteras normalmente se caracteriza por:

- ✓ Características de la red Agrupadas en varias categorías y definidas por parámetros como:
- ✓ Clase o jerarquía de la carretera
- ✓ Flujo/cargas/congestión de tráfico tipos de firme
- ✓ Estado del firme
- ✓ Longitud de la carretera en cada categoría
- ✓ Características del parque de vehículos que utiliza la red

- **PROGRAMACIÓN**

Consiste en programar la serie de trabajos a realizar en varios años, sobre algunas posibles vías seleccionadas, considerando restricciones de presupuestos definidas. en esta parte se deben priorizar obras para optimizar los presupuestos.

- **PREPARACIÓN**

Ésta es la fase de planificación a corto plazo, donde los planes de carreteras aprobados se agrupan para realizarlos. En esta fase, se refinan los diseños y se preparan con más detalle; se hacen listas de cantidades y costos detallados, junto con instrucciones para las obras y contratos. Es probable que se realicen las especificaciones y costos detallados y también se puede realizar el análisis detallado de costos-beneficios para confirmar la viabilidad del esquema final.

- **OPERACIONES**

Estas actividades cubren la operación diaria de una organización. Las decisiones sobre la gestión de operaciones se suelen tomar de forma diaria o semanal, incluyendo la programación de las obras a realizar, la supervisión en términos de mano de obra, equipos y materiales, el registro de las obras finalizadas y el uso de esta información para supervisión y control.

7.1 COSTOS Y BENEFICIOS

El análisis costo – beneficio realizará una comparación sistemática entre todos los costos inherentes a determinado curso de acción y el valor de los bienes, servicios o actividades emergentes de tal acción.

En este contexto los costos-beneficios debidos al mejoramiento de las vías se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ✓ Beneficios y costos expresados en términos monetarios (costos de operación vehicular, ahorros en los tiempos de viajes, costos de accidentes, etc.).

- ✓ Beneficios cuantificables y costos en términos no monetarios (Seguridad en la vía, contaminación de las emisiones de los vehículos, ruido del tráfico, etc.).
- ✓ Beneficios y costos no cuantificables (Mayor bienestar social, impactos ecológicos, etc.)

De acuerdo a esta clasificación, los costos y beneficios que se deben considerar dentro de la evaluación económica son: costos en que incurre la administración vial, costos de usuarios, efectos ambientales y otros costos y beneficios.

7.1.1 COSTOS EN QUE INCURRE LA ADMINISTRACIÓN VIAL

Involucran todos los costos relacionados con la construcción y mantenimiento de las vías para que se conserven en buen estado. Estos costos incluyen lo siguiente:

- ✓ Desarrollo de la vía.
- ✓ Conservación de la vía.
- ✓ Actividades fuera de la calzada.

El costo de los trabajos se obtiene del producto de las cantidades físicas involucradas en una actividad por su costo unitario. Este se determina para cada tramo y alternativa de inversión en cada año del período de análisis. Los costos resultantes se asignan a las categorías del presupuesto que define el usuario. Las categorías mínimas que se deben definir son:

- ✓ Periódica
- ✓ Rutinaria
- ✓ Especial

Las restricciones del presupuesto se pueden aplicar individualmente, para cada categoría cuando lo requiera la optimización o el análisis económico.

7.1.2 COSTOS DE LOS USUARIOS DE LA VÍAS

Relaciona los costos debidos a los impactos del estado de la carretera, así como los estándares de diseño de ésta, sobre los usuarios. Se deben incluir los siguientes componentes de los costos de usuarios de las vías:

7.1.2.1 Costos de la circulación de los vehículos motorizados (VOC)

Los costos de circulación de los vehículos motorizados están compuestos por los grupos que se presentan a continuación:

- ✓ Consumo de combustible y lubricantes
- ✓ Consumo de neumáticos y repuestos
- ✓ Horas de trabajo
- ✓ Capital

- ✓ Conductor /chofer
- ✓ Generales

7.1.2.2 Costos de tiempo de viaje

Son los beneficios debidos a los ahorros en el tiempo de viaje, determinados a partir del cálculo de las velocidades de los distintos tipos de vehículos. Incluye los costos del tiempo de viaje de pasajeros y los de carga.

7.1.2.3 Costos de los accidentes

Un accidente se considera un evento que involucra uno o más vehículos en el cual se presentan muertos, heridos y/o daños materiales. La severidad de los accidentes se clasifican en:

- ➔ Fatales: Se considera fatal cuando hay una muerte dentro de un período fijo después de un accidente (se recomiendan 31 días).
- ➔ Heridos graves: se causan heridas pero no resultan fatales
- ➔ Daños en propiedad: no se presentan heridos humanos sino solo daños a la propiedad por el accidente.

El modelo de evaluación debe permitir que estos costos debido a accidentes puedan ser incluidos o no en el análisis económico.

7.1.3 EFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Se determinan los siguientes:

- ✓ Emisiones de los vehículos
- ✓ Consumo de la energía
- ✓ Ruido del tráfico

7.1.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS NETOS ANUALES

Entre cada par de opciones de inversión, los beneficios económicos netos anuales resultantes de la implantación de la opción m sobre la opción n se obtendrán combinando las diferencias de los costos de la administración, los costos de los usuarios y otros costos y beneficios,

7.2 ANALISIS ECONÓMICO

La evaluación de proyectos se realiza con el fin de poder decidir si es conveniente o no realizar un proyecto de inversión. Para este efecto, debemos no solamente

identificar, cuantificar y valorar sus costos y beneficios, sino tener elementos de juicio para poder comparar varios proyectos coherentemente.

La evaluación se hace en base a los siguientes criterios, que se calculan a partir de los flujos de costos o beneficios con una tasa de descuento especificada por el usuario:

- ✓ Valor neto actual (VAN)
- ✓ Tasa interna de retorno (TIR)
- ✓ Relación costo/beneficio neto (BCR)
- ✓ Beneficios del primer año.

7.3 OPTIMIZACIÓN

Para la optimización del presupuesto y planificación de trabajos en la vía se deben considerar como mínimo los siguientes métodos: enumeración total y relación costo/beneficio incremental.

7.3.1 ENUMERACIÓN TOTAL

Este método requiere información del período de análisis, el número de períodos de presupuesto, la función objetiva o parámetro de optimización (maximización de VAN, mejora en la regularidad) y las restricciones de los recursos en cada período presupuestario.

7.3.2 RELACIÓN COSTO/BENEFICIO INCREMENTAL

Este método realiza una comparación a partir de la relación creciente VAN/Costo básico entre las opciones de inversión.

El modelo de evaluación económica ha desarrollar debe contar como mínimo el análisis económico contenido en el modelo HDM-4 para alternativas de inversión en la ciudad de Bogotá; las intervenciones a evaluar deben ser las manejadas por el Instituto y como mínimo comprenderán las actividades definidas para los distritos de conservación y las definidas por el SGVEP del IDU.

8. MODULO DE FORMULACION DINAMICA DENTRO DEL SISTEMA DE GESTION VIAL Y ESPACIO PÚBLICO.

Al inicio del contrato se recopiló toda la información relacionada con los procesos del negocio, entendiendo este último como la planificación de las intervenciones que realiza la Dirección Técnica de Proyectos del Instituto de Desarrollo Urbano para la malla vial de la ciudad de Bogotá. A través de esta información se logró analizar y definir el estado actual del negocio y del contexto para implantar el producto. Inicialmente se presentaron el conjunto de procesos asociados con el negocio y el flujo de trabajo de éste representado textualmente y gráficamente mediante un diagrama de contexto. Sobre el SGVEP se plasmaron los conocimientos de la funcionalidad y el estado actual del mismo dentro del contexto actual de trabajo en el IDU. Las inconformidades de los usuarios también fueron consignadas dentro de este documento, con las cuales se definió la base a tener en cuenta para analizar los requerimientos mínimos que deberían cumplir el SGVEP y el módulo de costos de usuarios para ser adaptados de forma correcta dentro del flujo de procesos del negocio.

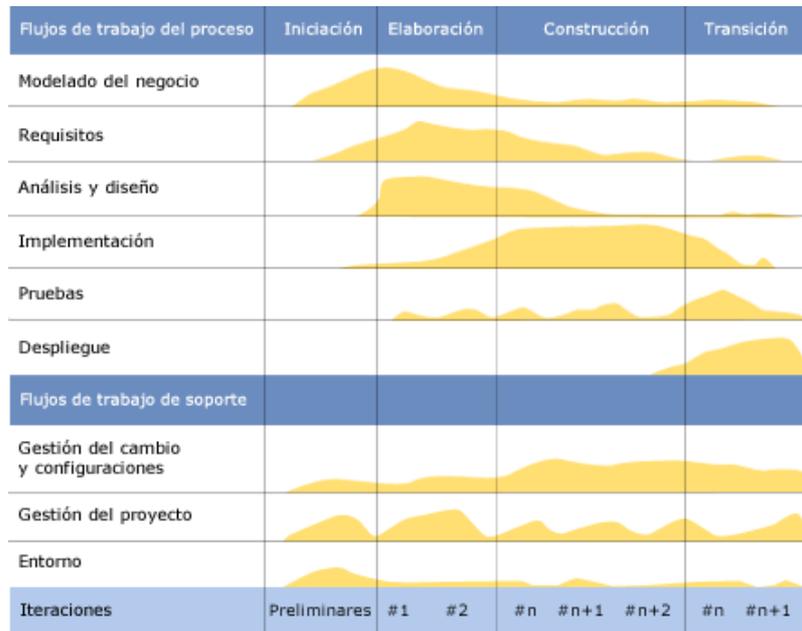
Luego de identificar los requerimientos de los usuarios y de analizar el proceso de evaluación de costos de usuario, fueron desarrollados el modelo y los diagramas de los casos de uso del sistema. El modelo de casos de uso contiene la descripción detallada de cada uno de los casos de uso que representan funcionalidad dentro del módulo de costos de usuario.

Al definir los casos de uso del sistema mediante el modelo, se realizó la representación gráfica de los mismos y su interacción con los usuarios mediante la creación de los diagramas de casos de uso del sistema. Estos documentos presentan la totalidad de la funcionalidad del módulo de costos de usuario a incorporar dentro del SGVEP.

La representación arquitectónica del módulo de costos de usuarios se presenta como una serie de vistas entre las cuales tenemos Vista de Casos de Uso, Vista Lógica y Vista de Procesos. Las Vistas de Implementación y Despliegue son heredadas del sistema principal en la cual será acoplado el módulo de costos de usuario.

Posteriormente, se definió un calendario de las principales tareas del proyecto incluyendo sólo las fases de Inicio y Elaboración asociadas a esta primera etapa del proyecto. El proceso iterativo e incremental de RUP está caracterizado por la realización en paralelo de todas las disciplinas de desarrollo a lo largo del proyecto, con lo cual la mayoría de los artefactos son generados muy tempranamente pero van desarrollándose en mayor o menor grado de acuerdo a la fase e iteración del proyecto. La siguiente figura ilustra este enfoque, en la cual se marca el énfasis de cada disciplina (workflow) en un momento determinado del desarrollo.

Figura 31 Fases de modelamiento RUP identificados



Para este proyecto se ha establecido el siguiente calendario. La fecha de aprobación indica cuándo el artefacto en cuestión tiene un estado de completitud suficiente para someterse a revisión y aprobación, pero esto no quita la posibilidad de su posterior refinamiento y cambios.

Tabla 11 Calendario Fase de Inicio – Iteración 1.

Disciplinas/Artefactos generados o modificados durante la Fase de Inicio – Iteración 1	Comienzo	Aprobación
Modelado del Negocio		
Modelo de Casos de Uso del Negocio	Fase Inicio	Fase Inicio
Modelo de Objetos del Negocio	Fase Inicio	Fase Inicio
Requisitos		
Glosario de Términos	Fase Inicio	Fase Inicio
Documento Visión	Fase Inicio	Fase Inicio
Modelo de Casos de Uso		Siguiente Fase
Especificaciones de Casos de Uso		Siguiente Fase
Especificaciones de funcionalidad y Requerimientos no funcionales del sistema		Siguiente Fase
Análisis/Diseño		
Modelo de análisis y diseño		Siguiente Fase
Modelo E-R		Siguiente Fase
Implementación		
Documento de Arquitectura		Siguiente Fase
Prototipos de Interfaces de Usuario		Siguiente Fase
Producto		Siguiente Fase
Manual de Usuario		Siguiente Fase
Manual de Operación		Siguiente Fase
Manual de Mantenimiento		Siguiente Fase
Pruebas		
Plan de Pruebas		Siguiente Fase
Casos de Prueba		Siguiente Fase
Solicitud de Cambio		Siguiente Fase
Despliegue		
Plan de Puesta en Producción		Siguiente Fase
Gestión de Cambios y Configuración		Durante todo el proyecto
Gestión del proyecto		
Plan de Desarrollo del Software		Siguiente Fase
Informe Técnico de Evaluación del Sistema Actual		Siguiente Fase
Ambiente	Durante todo el proyecto	

Para la redacción de los términos de referencia se tuvieron en cuenta todos los documentos de análisis desarrollados durante la etapa de análisis del módulo de costos de usuario, así como la evaluación del sistema de gestión actual sobre el cual será incorporado. Dentro de los términos de referencia se contemplan los antecedentes y los objetivos tanto generales como específicos dentro del alcance del proyecto de desarrollo y puesta en producción. Adicional a esto, se presenta el alcance y la descripción del proyecto así como la metodología propuesta para el desarrollo del mismo en las diferentes fases identificadas. Finalmente se estable en un

breve estudio, la viabilidad del desarrollo solicitado por el IDU y las implicaciones del mismo en términos de tiempo y presupuesto.

Tabla 12 Calendario Fase de Elaboración – Iteración 1.

Disciplinas/Artefactos generados o modificados durante la Fase de Elaboración – Iteración 1	Comienzo	Aprobación
Modelado del Negocio		
Modelo de Casos de Uso del Negocio	Fase Inicio	Fase Inicio
Modelo de Objetos del Negocio	Fase Inicio	Fase Inicio
Requisitos		
Glosario de Términos	Fase Inicio	Fase Inicio
Documento Visión	Fase Inicio	Fase Inicio
Modelo de Casos de Uso	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Especificaciones de Casos de Uso	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Especificaciones de funcionalidad y Requerimientos no funcionales del sistema	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Análisis/Diseño		
Modelo de análisis y diseño		Siguiente Fase
Modelo E-R		Siguiente Fase
Implementación		
Documento de Arquitectura	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Prototipos de Interfaces de Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Producto		Siguiente Fase
Manual de Usuario		Siguiente Fase
Manual de Operación		Siguiente Fase
Manual de Mantenimiento		Siguiente Fase
Pruebas		
Plan de Pruebas	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Casos de Prueba		Siguiente Fase
Solicitud de Cambio	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Despliegue		
Plan de Puesta en Producción	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Gestión de Cambios y Configuración		
	Durante todo el proyecto	
Gestión del proyecto		
Plan de Desarrollo del Software	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Informe Técnico de Evaluación del Sistema Actual	Fase Elaboración	Fase Elaboración
Ambiente		
	Durante todo el proyecto	

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de realizar la calibración de los modelos flujo-velocidad y velocidad-rugosidad, y después de adaptar la herramienta RUCKS-Bogotá a las condiciones locales se encontró que:

- La calibración nivel 2 del modelo velocidad-rugosidad empleando la metodología de comparación de velocidades antes y después de intervención no pudo ser implementada debido a retrasos y modificaciones en los cronogramas de obras de las vías seleccionadas. Este tipo de calibración debe ser realizada en corredores que tengan diferentes tipos de intervención y se cuente con el tiempo necesario para poder realizar las mediciones después de intervención.
- La calibración nivel 2 del modelo velocidad – rugosidad aplicada arrojó como resultado valores de ARVMAX mucho menores que los propuestos por HDM-4. Este parámetro fue calibrado a partir de las mediciones de velocidad a flujo libre en condiciones ideales de manera tal que la velocidad medida estuviera únicamente restringida por la rugosidad, sin embargo debido a las condiciones geométricas de las vías urbanas, el flujo vehicular presentado en horas denominadas de bajo tráfico, el límite de velocidad de la vía y la verificación de la policía del cumplimiento de la vía así como las intersecciones o cruces presentes en la mayoría de ellas, generaron valores de velocidad menores a los esperados en condiciones ideales, determinando finalmente menores valores de ARVMAX para cada tipo de vehículo. Por esta razón se recomienda continuar empleando los valores de ARVMAX definidos en el HDM-4, los cuales son resultado de estudios detallados realizados en Brasil y Australia. Adicionalmente se recomienda realizar una calibración de nivel 3 en este parámetro de manera que se pueda determinar directamente el valor de ARVMAX a partir de mediciones de la velocidad de rectificación debido a la excitación de la suspensión del motor del vehículo.
- La calibración nivel 2 del modelo flujo – velocidad fue realizada a partir de mediciones de volumen y velocidad en 4 períodos de flujo definidos con la

información de las estaciones maestras: pico, alto, medio y bajo. De las mediciones realizadas, se tenían 10 corredores divididos en vías semaforizadas y vías sin cruces de la malla vial arterial. Para las vías sin cruces, el comportamiento del modelo flujo – velocidad es muy similar al presentado en el modelo HDM-4, lo cual se debe a que las vías sin cruces simulan vías interurbanas con flujo ininterrumpido, condiciones con las que el modelo fue diseñado. Para las vías semaforizadas, los valores de las velocidades a capacidad a flujo libre, capacidad nominal y capacidad última son muy bajos, del orden de 25-30 km/h; este fenómeno se presenta porque el modelo no tiene en cuenta demoras debido a semáforos o cruces viales, lo cual aumenta el tiempo de viaje para una misma distancia. Se recomienda realizar una calibración nivel 3 del modelo flujo – velocidad en el que las ecuaciones originales de la herramienta sean ajustadas por un factor que contemple las vías semaforizadas de manera que incluyan estudios de demoras y tiempos de semáforos.

- Adicionalmente, la calibración del factor de fricción lateral se realizó simultáneo a la calibración del modelo flujo – velocidad con las fotografías tomadas de los 10 corredores viales. Siguiendo el proceso de calibración descrito en el HDM-4, se encontraron diferentes valores de XFRI para vías de la malla vial arterial, intermedia y rural, para encontrar una relación con los valores de XFRI y los tipos de vía, se tuvo en cuenta adicionalmente el uso del suelo en la ciudad y se encontró que para vías arteriales cuyo uso del suelo es comercial, mayores obstáculos laterales se encontraron, disminuyendo el factor de XFRI mientras que para vías arteriales de uso no comercial ni industrial, menores obstáculos laterales se encontraron. Con base en el análisis de tipo de vía y uso de suelo se proponen valores de XFRI para las diferentes vías de la ciudad.
- La calibración del factor de cumplimiento de velocidad (en función de la velocidad deseada) se realizó simultáneo a la calibración del modelo flujo – velocidad con las velocidades promedio obtenidas para flujo libre. De aquí se encontró que para las vías sin cruces, el factor de cumplimiento es mayor a 1, lo que indica que los usuarios transitan con velocidades mayores a la límite mientras que para vías semaforizadas, el factor de cumplimiento es menor a 1 lo que indica que los usuarios transitan a velocidades menores al límite. Para el caso de las vías sin cruces, este comportamiento es el esperado puesto que a flujo libre, el conductor se verá influenciado por parámetros diferentes a la interacción vehicular como estado superficial, ancho de la vía. Para el caso de las vías semaforizadas, las velocidades a flujo libre obtenidas incluyen los

tiempos de los semáforos por lo que se recomienda que se lleve a cabo una calibración detallada de este parámetro en el que se incluyan estudios de semáforos (tiempos y demoras) y programación de los mismos de acuerdo a la variación del flujo.

Adicionalmente, con base en el análisis de sensibilidad realizado en desarrollo de la presente Consultoría, se hacen las siguientes recomendaciones:

- **Calibración Velocidad flujo libre restringida debido a la rugosidad:** Para realizar la calibración de la velocidad restringida por la rugosidad (modelo velocidad - rugosidad) se recomienda establecer pistas de prueba en las cuales se realicen actividades de mantenimiento sobre la calzada, cuya finalidad sea **exclusivamente** mejorar la condición superficial (rugosidad). Se deberá medir velocidad y rugosidad antes y después de la intervención de manera que cualquier aumento de velocidad sea atribuido únicamente a la mejora de la rugosidad.

Teniendo en cuenta que las priorizaciones de intervenciones pueden no basarse en la mejora de la condición superficial sino a otras razones de priorización, se resalta que las pistas de prueba a ser mejoradas deben tener un IRI de 5 m/km o más, y el IRI esperado después de intervención no debe ser mayor a 3.5 m/km.

- **Calibración Velocidad flujo libre restringida debido a la curvatura:** Se recomienda realizar la calibración del modelo velocidad - curvatura con el fin de definir la velocidad limitada debido a dicho parámetro. Para lo anterior se deben seleccionar vías sin intersecciones con similares tipos de superficie, ancho de carril y valores de IRI de manera que se recolecten datos de velocidad a flujo libre y puntos medios de las curvas.
- **Modelo flujo-velocidad:** Se presenta una gran diferencia de los valores de capacidad y velocidades en vías sin intersecciones comparadas con vías semaforizadas. Uno de los principales factores que afectan esta diferencia corresponde a la densidad semafórica y a la duración de los tiempos rojos y verdes en los semáforos, los cuales generan demoras.

Adicionalmente, para modelar la relación flujo-velocidad de la ciudad se debe realizar **calibración** de los parámetros de capacidad, velocidad y patrones de tráfico para vías de la **mallla vial intermedia, local y rural** de la ciudad de Bogotá.

El modelo contenido en el HDM-4 ha sido diseñado para vías interurbanas en las cuales no se presentan intersecciones semaforizadas por lo que se recomienda desarrollar un modelo propio definiendo las ecuaciones a emplear para el modelo flujo-velocidad de la ciudad de Bogotá, el cual debe incluir como mínimo evaluación de flujo interrumpido y de flujo ininterrumpido.

- **Consumo de combustible:** El consumo de combustible representa entre el 20 y el 40% de los costos de operación vehicular divididos en tres principales componentes: El consumo en parada que es empleado como límite inferior del consumo, consumo por requerimientos de potencia, en condición SIN fluctuaciones de velocidad, es decir en condición de flujo libre; consumo adicional debido a las fluctuaciones de velocidad (DFUEL), que se determina en función de la velocidad y del ruido de la aceleración (desviación estándar de las aceleraciones) y está compuesto por el ruido normal (que depende a su vez del ruido ocasionado por el alineamiento, conductor, presencia de tráfico no motorizado, fricción lateral y rugosidad) más el ruido por efectos del tráfico (que depende de la relación Volumen Capacidad, es decir del nivel de tráfico o demanda (congestión) variando según el tipo de vehículo.

El consumo de combustible depende de la velocidad y del grado de congestión de la vía por lo que es necesario definir adecuadamente los parámetros del modelo de velocidad; de igual manera el flujo de tráfico en condiciones de congestión (entre capacidad nominal y capacidad última) generan un alto impacto en el consumo de combustible por lo que se recomienda realizar la calibración del consumo de combustible para los 3 componentes teniendo en consideración condiciones reales de congestión en la ciudad de manera que se definan consumos reales.

El **ruido de aceleración** permite predecir los efectos de la variación de la velocidad debido a la congestión vehicular. Para este parámetro se recomienda realizar una calibración en la que se determine la variación de la velocidad (aceleración y desaceleración) bajo circunstancias de congestión para cada uno de los vehículos tipos definido. Esta calibración puede ser realizada instalando un equipo apropiado (podría emplearse un acelerómetro) que mida la velocidad o aceleración en intervalos de 1 segundo sobre corredores con similares características y con variación de un solo parámetro (ej. IRI, Volumen) de manera que los resultados permitan indicar que la diferencia de aceleración se debe al parámetro que varía entre un corredor y otro.

- **Consumo de Lubricantes:** El modelo de consumo de lubricantes se refiere a la pérdida de aceite debido a la contaminación y debido a la operación (depende del consumo de combustible). Del análisis de sensibilidad se tiene que tanto el flujo como la velocidad tienen un alto impacto en el consumo de combustible y por consiguiente en el consumo de lubricantes.

Se recomienda calibrar el modelo de consumo de lubricantes en conjunto con el consumo de combustible debido a que el primero depende directamente del segundo quienes a su vez dependen de la velocidad, del flujo y de la condición superficial de la vía.

- **Consumo de neumáticos:** Del análisis de sensibilidad desarrollado se encontró que el consumo de neumáticos está en función de la condición de la vía, la velocidad la cual varía según el tipo de vehículo, el tipo de llanta y el flujo vehicular. Se recomienda realizar la calibración de este modelo monitoreando el consumo de la flota vehicular (tomar un vehículo típico de cada grupo de vehículos) evaluando el cambio de llanta (o reencauche) según el número de kilómetros promedio que recorra cada vehículo, midiendo por lo menos valores de velocidad, condición superficial de la vía en diferentes períodos de flujo de tráfico con el fin de conocer los efectos de cada uno de estos tres parámetros en el consumo de neumáticos.
- **Consumo de partes:** Este modelo constituye un componente significativo de los costos de operación vehicular dependiendo de la edad del vehículo y la rugosidad y variación de la velocidad. Del análisis de sensibilidad se tiene que los valores de recorrido anual y vida útil tiene un alto impacto en el consumo de partes por lo que la definición de estos parámetros dentro de la presente consultoría se realizó a partir de investigaciones en entidades competentes. Se recomienda realizar seguimiento y actualización de dicha información de manera que el modelo cuente con los valores reales que se encuentran en la ciudad.
- **Modelo de Mantenimiento:** Del estudio del modelo de mantenimiento se encontró que este modelo se encuentra directamente relacionado con la cultura ciudadana en cuanto a mantenimiento vehicular se refiere. En diferentes países se tiene que el costo de mantenimiento y partes está ligado a los precios del mercado en cuanto a mano de obra y repuestos se refiere; diferentes regímenes de precio de repuestos y vehículos entre una ciudad y otra pueden distorsionar significativamente el modelo de mantenimiento.

Por esta razón la calibración de este modelo es un elemento esencial para un análisis de costos de usuarios, adaptado específicamente para la ciudad o país en evaluación. Se recomienda realizar la calibración de este modelo para las 4 clases de vehículos que se definieron para la ciudad: motos, automóviles, buses y camiones y midiendo por lo menos valores de velocidad, condición superficial de la vía en diferentes períodos de flujo de tráfico con el fin de conocer los efectos de cada uno de estos tres parámetros en el consumo de partes y mantenimiento

- **Otros modelos:** Los costos de depreciación y trabajos de mantenimiento permanecen constantes con el aumento del flujo mientras que los costos de intereses, operarios y gastos generales aumentan considerablemente en las horas de congestión extrema. Inicialmente se recomienda realizar una calibración de nivel 1 para estos modelos.
- **Tiempos de viaje y ocupación vehicular:** Se recomienda realizar una calibración de los tiempos de viaje de trabajo y de no trabajo así como la ocupación vehicular a partir de encuestas origen destino para por lo menos las 12 categorías de vehículos definidas como la flota vehicular bogotana, teniendo en cuenta tiempos de espera de transporte, tiempos de transbordo y tiempos de caminata en los casos en que aplica (desde paradero hasta lugar destino). Para el caso de la ocupación vehicular, especialmente en vehículos pesados de servicio público (buses) se recomienda realizar seguimiento empleando el método del vehículo flotante en el que un aforador va dentro del vehículo realizando encuestas origen-destino y diligenciando la ocupación para los diferentes períodos de flujo de tráfico.
- **Módulo de Costos de usuarios:** El módulo de costos de usuarios que se implementaría en etapas posteriores, se encuentra basado en la herramienta RUCKS desarrollada por el Banco Mundial. Se recomienda que previo a la implementación del módulo de costos de usuarios, se realice una revisión detallada de la base de datos que maneja la Entidad con el fin de depurar datos que no s reales y de incluir los campos requeridos por la herramienta y que aún no se encuentren en la base de datos.
- **Módulo de Evaluación Económica:** Con base en los estudios realizados para desarrollar el HDM-4 y resultados obtenidos por diferentes autores, se recomienda que el módulo de evaluación económica contemple, además de los costos de operación vehicular y tiempos de viaje, los costos por emisiones

de gases, costos de seguridad vial (accidentes) y costos ambientales para las diferentes alternativas de intervención definidas previamente por la entidad e incorporadas en el SGV-EP

- **Sistema de Gestión Vial y Espacio Público:** El sistema de Gestión Vial y Espacio Público con el cual cuenta actualmente la entidad debe ser actualizado de manera que pueda incorporar el módulo de costos de usuario y el módulo de evaluación económica.

De manera general se recomienda el desarrollo de un **modelo propio** que **refleje** las condiciones de la **ciudad** de Bogotá, especialmente en los modelos de flujo-velocidad (incluyendo semáforos y cruces), de combustible, de partes y de mantenimiento.