

**PROPUESTA DE UN MODELO DE TARIFICACIÓN VIAL PARA VEHÍCULOS  
PARTICULARES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**MARÍA ALEJANDRA GRANDA SOLARTE**

**CAMILO ANDRÉS MUÑOZ HIDALGO**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D. C.,**

**2014**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE TARIFICACIÓN VIAL PARA VEHÍCULOS  
PARTICULARES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**MARÍA ALEJANDRA GRANDA SOLARTE**

**CAMILO ANDRÉS MUÑOZ HIDALGO**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero civil**

**Asesor Disciplinar**

**Ing. DARÍO NARANJO TORRES**

**Asesor Metodológico**

**Lic. BIBIANA GÓMEZ S.**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D. C.,**

**2014**

## Contenido

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>7</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
3.1. General .....	11
3.2. Específicos .....	11
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
<b>6. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>17</b>
6.1. Marco conceptual .....	17
6.1.1. Congestión .....	17
6.1.2. Peajes urbanos o tarifas por congestión.....	17
6.1.3. Modelo de tarificación .....	18
6.1.4. Flujo vehicular (q).....	19
6.1.5. Costo de viaje (S).....	20
6.1.6. Costos privados (CP) .....	21
6.1.7. Costo social (Mc).....	21
6.1.8. Demanda (P).....	22
6.2. Marco geográfico .....	22
6.3. Marco legal .....	25
<b>7. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>26</b>
Enfoque metodológico.....	26
Tipo de investigación.....	27
Fases .....	27
Determinación de ecuaciones, graficas e implementación del modelo de traficación vial para la ciudad de bogotá .....	28

Costos privados para la un automóvil .....	28
costo social de un viaje para un vehículo individual o automóvil.....	36
Modelo de tarificación vial para la ciudad de bogotá .....	37
Punto de equilibrio o demanda del modelo de tarificación vial .....	38
Tarifa por congestión o costo por congestión para la ciudad de bogotá .....	42
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
8.1. Costos privados .....	45
8.2. Costos sociales.....	47
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>10. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Tarifación vial óptima en un modelo independiente del tiempo .....	19
Figura 2. Mapa de costos de usuario.....	21
Figura 3. Mapa de Bogotá. ....	24
Figura 4. Curva de los costos privados.....	46
Figura 5. Curva costos sociales.....	48

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Costos variables para un automóvil .....	32
Tabla 2. Costos fijos para un automóvil .....	33
Tabla 3. Datos de costos privados y costos sociales para el desarrollo de los mínimos cuadrados.....	39
Tabla 4. Análisis de costos privados.....	46
Tabla 5. Análisis costos sociales .....	48

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1. Costos privados.....	36
Grafica 2. Costos privados.....	37
Grafica 3. Modelo de tarifación vial para la ciudad de Bogotá.....	38
Grafica 4. Recta de la demanda en el modelo de tarifación vial.....	41

## INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular es la derivación de múltiples factores sociales, culturales, económicos y políticos que se presentan en las principales ciudades. La cual afecta a los usuarios del transporte público como a los del automóvil. Es un fenómeno que cada vez es más frecuente y de mayor crecimiento, en general entendemos que es exceso de vehículos en una vía, lo cual trae como consecuencia que cada vehículo avance de forma más lenta e irregular en comparación a las condiciones normales de operación.

Técnicamente podríamos decir que la congestión vehicular se da cuando los vehículos de la vía interfieren en el normal desplazamiento de los demás vehículos, esto es cuando se supera un cierto nivel de concentración y los vehículos comienzan a circular a una velocidad menor que la velocidad de flujo libre de la vía.

La congestión de la ciudad de Bogotá ha sido un problema para la movilidad de la ciudad, desde hace varios años las propuestas de los alcaldes ha sido promover el pico y placa para la disminución de la congestión pero esta aplicación no ha sido una mejora para este problema, en diferentes capitales o ciudades principales como lo son ciudad de Panamá, Santiago de Chile y Londres han venido desarrollado un procedimiento para la disminución de la congestión y estas ciudades han implementado un modo de tarificación por congestión o tarificación vial, el cual este modo ha dado una solución para la problemática de estas ciudades o capitales. Este proyecto se basa sobre el modo de tarificación vial para la ciudad de Bogotá y brinda una solución a la problemática por medio de un modelo de tarifa por congestión en el cual se establecerán diferentes ecuaciones para el cálculo de la demanda, desarrollo del modelo y a partir de esto determinar un cobro por el uso de la vías de la ciudad.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Bogotá con una población de 6'778.691 habitantes de acuerdo con el censo realizado en el 2005 por el "DANE" y con un nivel de crecimiento en hogares, familias, urbanizaciones, y mayor productividad asociada al proceso de aglomeración económica, han provocado una mayor demanda de vehículos por parte de los hogares y de las empresas, para de esta misma manera llevar a cabo las actividades económicas, debido a estas actividades se presenta un incremento en el parque automotor de la ciudad fue de 590.939 vehículos particulares en 2002 a 1'618.834 en 2012, lo cual muestra un crecimiento porcentual del 174% con una sobre oferta en el parque automotor, según con cifras de la secretaria de movilidad. Por lo tanto, persisten problemáticas en materia de la congestión vial generada por las deficiencias en la malla vial (represamiento de vehículos, accidentes entre otros).

Ante el incremento de la congestión de tráfico de Bogotá, se ha propuesto reducir este problema imponiendo restricciones al tráfico vehicular por dos o tres días a la semana esta medida que se conoce "pico y placa", esta alternativa de planeación operativa implementada por el gobierno es a corto plazo para la disminución de la congestión, por otro lado existen alternativas como infraestructura o semaforización, pero su impacto a largo plazo no es significativo.

Otra solución para la congestión con un impacto mayor y que se ha implementado en otras ciudades como Londres, ciudad de Panamá, Santiago de Chile, Singapur, entre otras ciudades han implementado peajes urbanos o tarifas por congestión, los cuales han sido de utilidad para disminuir la congestión y así promover los diversos sistemas de transporte público, además de dar una solución a la disminución de la congestión, mejorando la calidad de vida, y disminuyendo la contaminación dando un ambiente saludable.

Dado los factores anteriormente señalados, en la presente investigación se delimitará y se establecerá la problemática de la congestión vial, como consecuencia del alto flujo de vehículos, a partir del cual se propondrá un modelo de tarificación vial como una aproximación al problema de congestión existente en la ciudad.

Teniendo en cuenta lo anterior el presente proyecto plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el valor de la tarifa arrojado en un modelo de tarificación vial que permite disminuir la congestión de vehículos particulares para la ciudad de Bogotá?



## 2. JUSTIFICACIÓN

La congestión del tránsito ha ido en aumento indicando que se seguirá extendiendo, conformando así un peligro cierto que se cierne sobre la calidad de vida urbana. La congestión es causada principalmente por el uso intensivo del automóvil, el rápido crecimiento de las industrias automotrices como también en el tiempo de espera, esto es cuando los usuarios reducen la rapidez normal de su vehículo. La solución al problema de la congestión en Bogotá está dada por la interacción que conforma el plan de transporte; a manera de acciones sobre el transporte colectivo que le otorga prioridad al uso de la malla vial de la ciudad, su objetivo es obtener una mejoría en la calidad del transporte, pero también se debe utilizar métodos tanto económicos como físicos y administrativos para estimular el uso del automóvil y con ello reducir el exceso de demanda y la congestión vial.

La tarificación por congestión o tarificación vial es reconocida como un instrumento clave para controlar la congestión vehicular, lo que permite la disminución de la contaminación atmosférica y el ruido en la ciudad, por eso es importante controlar la congestión vial de vehículos particulares que se presenta en la circulación en Bogotá, dado que el problema se encuentra en cualquier hora o en cualquier lugar, donde las vías de acceso permanecen congestionadas y la máxima ocupación de estos vehículos afecta el promedio de velocidad. En Bogotá la tarificación vehicular es un proyecto de control de tránsito que todavía está en proceso de desarrollo y será un modelo viable para la circulación de todos los automóviles en la ciudad de Bogotá.

Los estudios específicos demuestran que el problema de la circulación se desata por la tarificación en zonas principales y se ha dado por entendido que será un avance a la reducción del tráfico donde se aglomeran la mayor cantidad de vehículos y en que los fondos recaudados se aprovecharían más en la construcción del mejoramiento de la malla vial o en la reasignación de mejoras o

nuevos proyectos de transporte. El modelo de tarifación vial identificará y valorará los atributos que permitan definir este esquema. Adicional a esto, se busca vigilar el impacto de la utilización de este diseño. En el cual se identificará y se dará de forma puntual un esquema de tarifación vial considerando los siguientes atributos: extensión del área a cobrar, período del día en el cual se cobra, nivel de la tarifa, política de descuentos y uso de los fondos recaudados por el sistema.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. General**

Desarrollar un modelo teórico de tarificación vial para vehículos particulares en la ciudad de Bogotá.

#### **3.2. Específicos**

- ❖ Determinar el valor del costo privado del uso del automóvil en Bogotá.
- ❖ Hallar el costo social de un viaje para un vehículo individual o automóvil.
- ❖ Encontrar el punto de equilibrio o demanda del modelo de tarificación vial.
- ❖ Establecer una tarifa por congestión para la ciudad de Bogotá.

#### 4. HIPÓTESIS

- ✓ La aplicación del modelo de tarificación vial para la ciudad de Bogotá supera los 7.700 pesos desde el punto de vista del ingreso per cápita.

## 5. ANTECEDENTES

### 5.1. La congestión de Londres: una evaluación económica provisional

El 05 de marzo del 2005 se elaboró un estudio de tarificación vial para la ciudad de Londres, aprobado por la mayoría de economistas de esa ciudad. Este sistema de peaje urbano utiliza la estimación de la demanda y las curvas de los costos para el uso de las carreteras. Los costos por congestión son en gran parte un beneficio económico. Desarrollando así la congestión de carga, "esta carga es aproximadamente tres veces más grande que el valor de la congestión. Por desgracia, las amortizaciones y costos de operación anuales del sistema de carga parecen ser significativamente más alto que el beneficio económico producido por el sistema"<sup>1</sup>.

La metodología realizada por Juan Pablo Bocarejo y Rémy Prud'homme consistió en establecer un modelo de tarificación para la disminución de la congestión en la ciudad de Londres donde establecieron diferentes ecuaciones (costos privados, costos sociales y demanda), esto en función del uso de la carretera o uso de la vía (flujo vehicular), por medio de estas ecuaciones y el uso de la vía establecen un modelo de tarificación que arroja una tarifa de congestión que permite aumentar las velocidades y disminuir la problemática que presenta la ciudad.

Se concluyeron tres factores que se presentaron en la ejecución de modelo que se realizó para ciudad de Londres, primero: "los costos de congestión se dan en realidad relativamente modestamente alrededor del 0,1% del PIB producido en la zona de carga, Segundo: como se predijo por la teoría estos costos de congestión se han eliminado en gran parte por la congestión, y esta eliminación representa

---

<sup>1</sup>PRUD'HOMME, Rémy Y BOCAREJO, J. P. La congestión de Londres: una evaluación económica provisional. Universidad de Paris XII. Paris. 19 Abril 2005.

una ganancia económica y tercero: las ganancias de la carga son dos-y-uno-mitad veces más grande que esta ganancia económica”<sup>2</sup>.

## **5.2. Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos**

En Colombia, en especial, en una ciudad como Bogotá, persiste un creciente nivel de urbanización. Tras años, los colombianos han inducido una mayor demanda de vehículos por parte de los hogares y de los negocios ya sea, para llevar a cabo actividades económicas o como uso personal. Si bien es cierto, los perjuicios de la congestión de tránsito urbano son evidentes para cualquier observador, como: los mayores tiempos para el desplazamiento al trabajo y para la entrega de bienes y servicios, mayor consumo de combustible y también mayor contaminación del aire, entre otros.

Según el documento realizado en mayo del 2011 por Sebastián Medrano Gallo “aglomeración Económica y Congestión Vial”, realiza un estudio probabilístico donde analiza una tarifa de congestión para el centro de Bogotá, entonces el plantea ecuaciones (costos privados, costos sociales, tarifas de cobro, tiempos desplazamiento, genero “masculino y femenino”, estrato, edad y ocupación), con la realización de estas ecuaciones plantea unos modelos de estudio que permite establecer una tarifa por estratos y el centro de la ciudad de Bogotá. De acuerdo con el estudio realizado estableció una tarifa de 2.500 pesos que permitiendo que al aplicar este cobro se presente mejoras en la circulación.

“El presente estudio determinó la disposición a pagar por una reducción de congestión vehicular por estratos socioeconómicos en el centro de Bogotá, que

---

<sup>2</sup>PRUD’HOMME, Rémy y BOCAREJO, J. P. La congestión de Londres: una evaluación económica provisional. Universidad de Paris XII. Paris. 19 Abril 2005. Pág. 8

para cada uno de ellos es de 614.4 pesos para el estrato uno, 562.5 pesos para el estrato dos, 948.4 pesos para el estrato tres, 1158.6 pesos para el estrato cuatro, 1481.4 pesos para el estrato cinco y 1975.5 pesos para el estrato seis. Del mismo modo, se verificó la hipótesis inicial que la tarifa propuesta por la alcaldía de Bogotá de 2,500 pesos es superior a la disposición a pagar en cada uno de los estratos, y por lo tanto la política desplazaría más demanda de transporte que la deseada a priori de su aplicación”<sup>3</sup>.

### **5.3. “Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular”<sup>4</sup>**

Los registros específicos demuestran que la creciente urbanización y la sobrepoblación en ciudades colombianas han contribuido a la alta demanda de la congestión de vehículos debido a esto se han propuesto medidas como el pico y placa en dos ciudades con el mismo problema de tráfico donde se presenta una caracterización a nivel de sector censal de varios aspectos relevantes a la congestión del tráfico vehicular en Bogotá y Medellín resaltando las áreas de cada ciudad en las cuales la situación vehicular es más crítica.

Según el documento de Carlos Alberto Medina y Carlos Eduardo Vélez, en el 2011 efectuaron un estudio estadístico que permitió realizar modelos de estudio para observar la demanda vehicular que se presenta en las ciudades de Bogotá y Medellín, durante metodología que realizaron, plantearon ecuaciones (calidad de vida, propiedad del vehículo, racionamiento de tráfico vehicular y compensación

---

<sup>3</sup>MEDRANO GALLO, Sebastián. Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos. Universidad de los Andes. Bogotá D. C. Mayo de 2011. Pág. 23.

<sup>4</sup>MEDINA, Carlos Alberto. Y VÉLEZ, Carlos Eduardo. Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular. Banco de la República. Bogotá D. C. Octubre de 2011.

monetaria), a partir de estos desarrollaron unas tablas que permitieron un estudio de tráfico estadísticamente.

#### **5.4. Proyecto de acuerdo 171 de 2011 "por el cual se crea en Bogotá distrito capital la tasa de congestión y se dictan otras disposiciones"<sup>5</sup>.**

En Bogotá se ha presentado un incremento de automóviles particulares cuyo crecimiento genera congestión en las vías de la ciudad, problemática evidenciada en grandes ciudades como Londres, Ciudad de Panamá, Santiago de Chile, entre otras ciudades, que han definido medidas y soluciones operativas para la disminución del problema, mediante la implementación de tarifas para el tránsito por ciertas vías o carreteras. Aquí en Colombia, estas medidas de cobro se han efectuado sólo en carreteras rurales, con dicho cobro se presenta una mejora a la infraestructura vial que permite un mejor desplazamiento de un punto a otro.

Este proyecto de acuerdo establece parámetros para el cálculo de una tarifa que permite disminuir el problema de congestión que se presenta en las vías de la ciudad, en este proyecto se plantea unas metodologías de cálculo para hallar una tarifa por congestión, en la metodología 1 el señor Ardila en 1995 establece una ecuación de cálculo de costos privados para un automóvil partiendo de costos variables y fijos los cuales son: lubricantes, combustibles, llantas, mantenimiento y parqueadero. Los costos fijos corresponden a los seguros e impuestos, y en las metodologías 2 y 3 plantea un costo de congestión partiendo del tiempo demora y estacionamiento en la vía.

---

<sup>5</sup>PROYECTO DE ACUERDO 171 DE 2011. "Por el cual se crea en Bogotá Distrito Capital la tasa de congestión y se dictan otras disposiciones". Consejo de Bogotá. (en línea). Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=42999>.



## 6. MARCO REFERENCIAL

### 6.1. Marco conceptual

#### 6.1.1. Congestión

La congestión se define como “la condición de cualquier infraestructura de transporte en la cual su uso es grande que representa retrasos para sus usuarios. Esto sucede cuando la demanda se aproxima o excede la capacidad de la vía.

Cuando un vehículo entra en una vía congestionada reduce la velocidad de circulación de todos los carros en la vía. Con esto aumentan sus costos de operación de los demás vehículos y los costos imputables a tiempo de viaje de todos los usuarios. Como los demás usuarios incurren en un costo adicional, la entrada de un vehículo adicional produce una externalidad”.<sup>6</sup>

#### 6.1.2. Peajes urbanos o tarifas por congestión

Tasa, cargo o impuesto que se cobra en algunas ciudades bajo la política de tarifas de congestión, como los implantados en las siguientes ciudades: Buenos Aires, Panamá, Estocolmo, Londres, Milán y Singapur, con el propósito de disminuir la cantidad de vehículos que acceden a una determinada zona del centro para reducir la congestión de tránsito, y en los programas más recientes, también tienen el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

---

<sup>6</sup>GARBER, N. J. Y HOEL, L. A. Ingeniería de tránsito y carreteras. 3ª edición. Thomson. Universidad de Virginia. 2005.

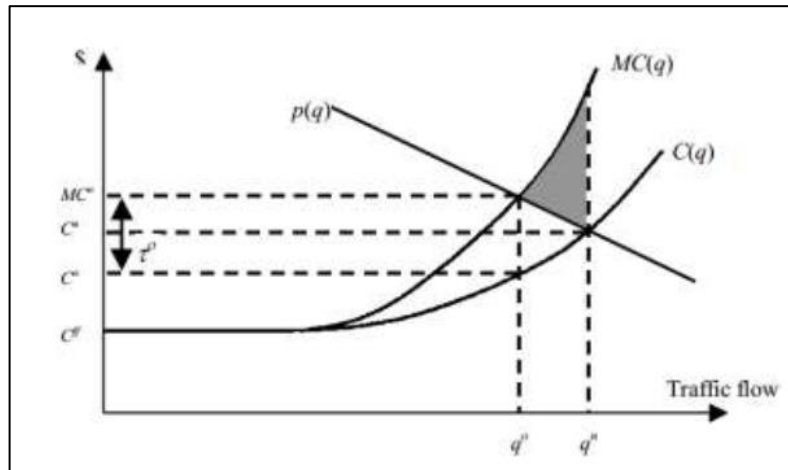
### 6.1.3. Modelo de tarificación

El principio básico de la tarificación por congestión se origina en la teoría de bienes públicos. El uso de las carreteras genera externalidades negativas (como ruido, congestión, contaminación, etc.), es decir que el consumo privado vehicular no incluye su verdadero costo social. En este orden de ideas, las tarifas por congestión surgen como una herramienta que alivia el desequilibrio entre la demanda y oferta de transporte, del mismo modo iguala los costos sociales llevando a un nuevo equilibrio de mercado. Considere un modelo de asignación de precios independiente al tiempo, un escenario donde un punto origen se conecta con un punto destino a través de una única vía y los individuos se desplazan exclusivamente en vehículos, es decir una persona por automóvil. El flujo de tráfico, la velocidad y las densidades son uniformes a través de la carretera e independientes del tiempo.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup>MEDRANO GALLO, Sebastián. Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos. Universidad de los Andes. Bogotá D. C. Mayo de 2011. Pág. 8.

**Figura 1. Tarificación vial óptima en un modelo independiente del tiempo**



Fuente: Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos. Universidad de los andes. Mayo de 2011. Pág. 8.

A continuación definimos las variables que se requieren para la elaboración del modelo:

#### 6.1.4. Flujo vehicular ( $q$ )

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.<sup>8</sup>

La teoría del flujo del tránsito consiste en el desarrollo de relaciones matemáticas entre los elementos primarios de un flujo vehicular tales como flujo, densidad y velocidad. Estas relaciones ayudan al ingeniero de tránsito para la planificación, diseño y evaluación de la efectividad de la implementación de las medidas de ingeniería de tránsito en un sistema de carreteras. La teoría del flujo del tránsito se usa en el diseño, para determinar las longitudes adecuadas de carril, para

<sup>8</sup> REYES S., R. C. Y CÁRDENAS, J. ingeniería de tránsito fundamentos y aplicación. 8ª edición. Alfa omega. México. Enero de 2007. Pág. 169.

"almacenar" a los vehículos que dan vuelta a la izquierda en carriles separados para realizar esta maniobra, la demora promedio en las intersecciones o cruceros y las áreas de incorporación al tránsito mediante rampas en los viaductos, así como cambios en el nivel de comportamiento del viaducto, debido a la instalación de dispositivos de control vehicular mejorados en las rampas. Otra aplicación importante de la teoría del flujo del tránsito es la simulación, en la cual se utilizan algoritmos matemáticos para estudiar las complejas interrelaciones, que existen entre los elementos de un flujo vehicular o red vehicular y para estimar el efecto de los cambios en el flujo del tránsito, sobre factores tales como accidentes, tiempo de viaje, contaminación del aire y consumo de gasolina.<sup>9</sup>

#### 6.1.5. Costo de viaje (S)

El costo generalizado del viaje, que se define como: “la suma del valor monetario de todos los determinantes de la demanda para un individuo”.<sup>10</sup> Este último captura todos los desembolsos y pagos que debe hacer el usuario con el fin de trasladarse, capturando los costos operativos del vehículo, los costos de desplazamiento y los peajes. Igualmente, se expresa en términos monetarios, permitiendo comparaciones interpersonales, a pesar de asumir una valoración del ingreso homogénea.<sup>11</sup>

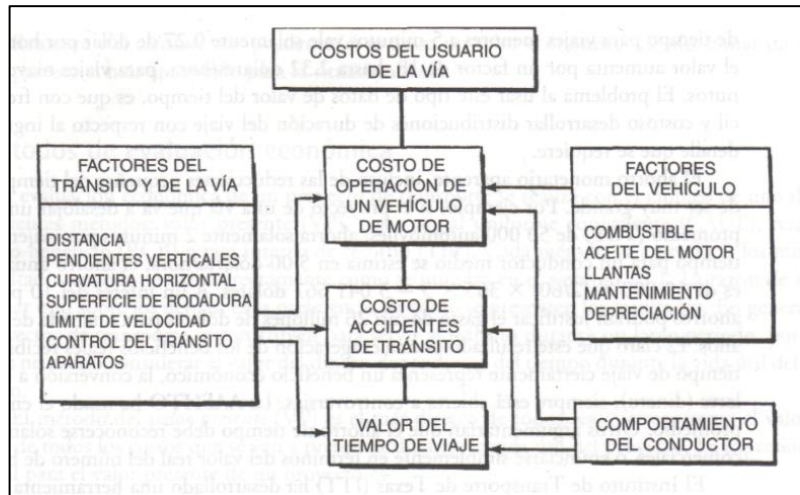
---

<sup>9</sup>GARBER, N. J. Y HOEL, L. A. Ingeniería de tránsito y carreteras. 3ª edición. Thomson. Universidad de Virginia. 2005. Pág. 175.

<sup>10</sup>MENDIETA, J. C. & PERDOMO, J. A. Fundamentos de economía del transporte: teoría, metodología y análisis de política. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE, Ediciones Uniandes. pág. 15.

<sup>11</sup>MEDRANO GALLO, Sebastián. Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos. Universidad de los Andes. Bogotá D. C. Mayo de 2011. Pág. 8.

**Figura 2. Mapa de costos de usuario.**



Fuente: ingeniería de economía, Departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras, abril de 1983, p. 28.

#### 6.1.6. Costos privados (CP)

El costo privado de un viaje en automóvil influye los costos de operación (depreciación, impuesto, mantenimiento, combustible, etcétera.). Mas el valor del tiempo que toma hacer el viaje. Cada usuario valora el tiempo de manera distinta. Su valoración depende de manera positiva del ingreso que tiene y de lo ocupado que este, y no es constante en el tiempo.

#### 6.1.7. Costo social (Mc)

El costo social de un viaje en automóvil incluye el costo privado más los costos en el que incurre la sociedad por la realización del viaje, como la mayor contaminación ambiental y las demoras de todos los usuarios. Tanto el costo

privado como el costo social aumentan el volumen de viajes o grado de congestión.

#### 6.1.8. Demanda (P)

Es el número de vehículos que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que algunos viajes se desvían hacia rutas alternas y otras simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial.<sup>12</sup>

## 6.2. Marco geográfico

El área de estudio del modelo de tarificación es la ciudad de Bogotá, departamento de Cundinamarca, capital de Colombia, a una altura de 2.630 metros sobre el nivel del mar, y con un área de 1.587 Kms<sup>2</sup>, es sede del Gobierno y la más extensa de las ciudades de Colombia. Aquí se concentra el 17% de la población total de la nación (6'778.691 de habitantes), con la característica de poseer los más altos índices educativos, y con un incremento en el parque automotor, esto considerando congestión para ciudad.

Los límites del Distrito Capital son:

Norte: Municipio de Chía.

---

<sup>12</sup>REYES S., R. C. y CÁRDENAS, J. ingeniería de tránsito fundamentos y aplicación. 8ª edición. Alfa omega. México. Enero de 2007. Pág. 169.

Oriente: Cerros Orientales y los Municipios de La Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez.

Sur: Departamentos del Meta y Huila.

Occidente: Río Bogotá y Municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota.

Cuenta con la siguiente nomenclatura: Las carreras vienen paralelas a los cerros y las calles perpendiculares a estos; las calles llevan una numeración consecutiva en dos direcciones, norte y sur, mientras que las carreras llevan la numeración en las direcciones oriente y occidente.

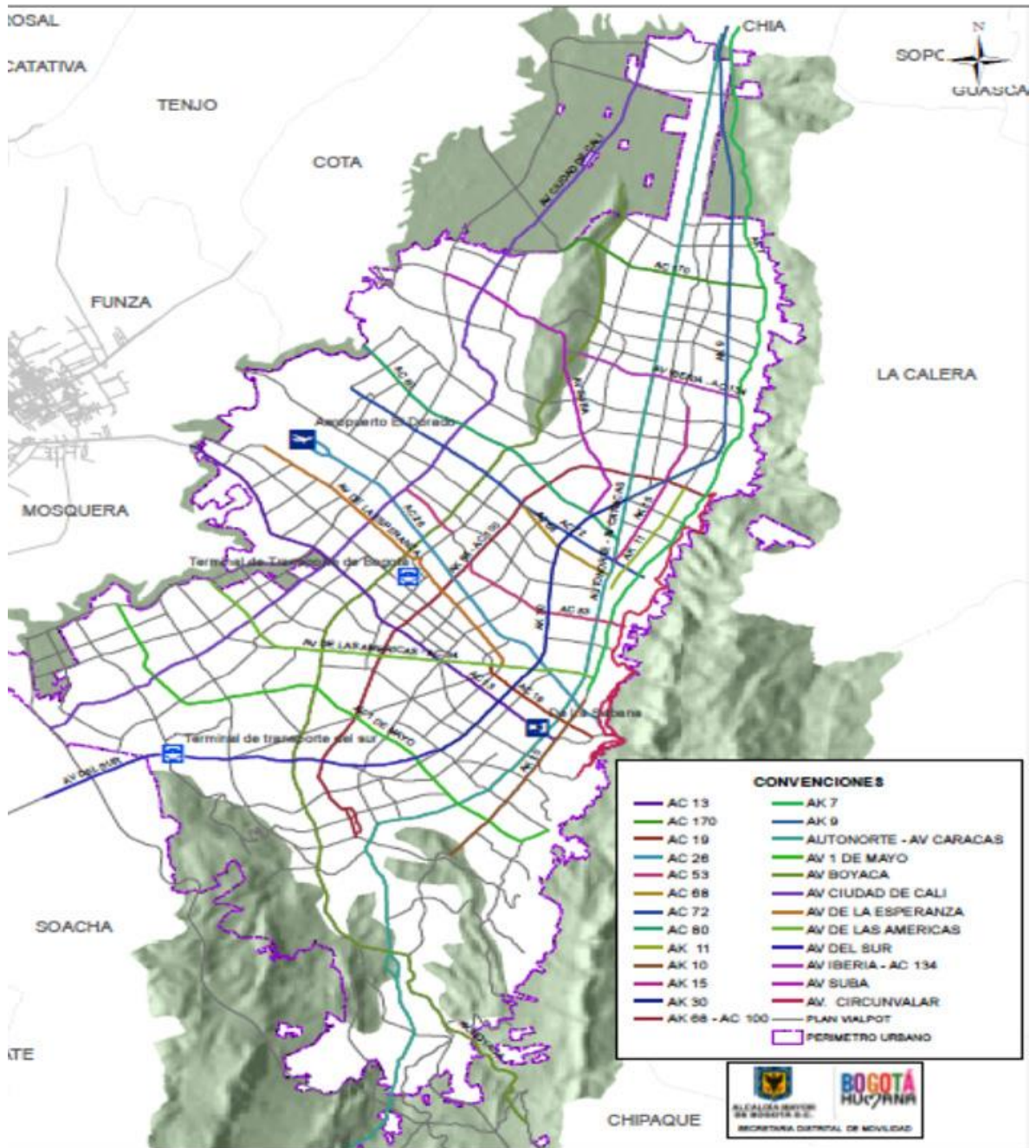
En la ciudad de Bogotá tiene disposición de las vías en Bogotá utiliza el sistema de coordenadas cartesianas, en donde el norte está a la derecha. El trazado urbano se fundamenta en un punto focal en una plaza central, típico de los asentamientos españoles; pero el diseño se vuelve gradualmente más moderno en los barrios periféricos. Actualmente, los tipos de vías en la ciudad son clasificadas como:

Calle: Están perpendiculares a los cerros orientales, con su número incrementándose gradualmente hacia el norte desde la calle 1 o hacia el sur desde la misma calle pero con el sufijo "sur".

Carrera: Son paralelas a las montañas orientales, con la numeración aumentando a medida que se desplazan hacia el oeste de la carrera 1, o con el sufijo "este" para las que están más al oriente de la carrera 1.

Otra clase de caminos, más comunes en las partes modernas de la ciudad, son las "Diagonales" o "Transversales", que están trazadas oblicuamente respecto a las calles y las carreras.

Figura 3. Mapa de Bogotá.



Fuente: Movilidad de cifras 2012. Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria de movilidad. 2012. Pág. 31.



### 6.3. Marco legal

<b>LEYES, ACUERDOS Y PROYECTOS</b>	
<b>PROYECTO DE ACUERDO 171 DE 2011 "POR EL CUAL SE CREA EN BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL LA TASA DE CONGESTIÓN Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES"</b>	<p>Este acuerdo fue promovido por el exalcalde Samuel Moreno y fue propuesto para al consejo de Bogotá, durante la elaboración de este acuerdo se presentaron diferentes empresas empleadas en el tema de tránsito y transporte donde estudiaron las principales avenidas observando los factores contribuyentes a la congestión, estas empresas platearon diferentes temas para la elaboración de este acuerdo, pero no tuvo la rigurosidad para ser aprobado como un decreto o ley de la ciudad y que se quedó como en un proyecto de acuerdo.</p>
<b>LEY 769 DE 2002 "POR LA CUAL SE EXPIDE EL CÓDIGO NACIONAL DE TRÁNSITO TERRESTRE Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES"</b>	<p>Según esta ley nos da a conocer la nuevas normativas del código de transito que rige para todo el territorio nacional y regulan la circulación de los peatones, usuarios, pasajeros, conductores, motociclistas, ciclistas, agentes de tránsito, y vehículos por las vías públicas o privadas que están abiertas al público, o en las vías privadas, que internamente circulen vehículos; así como la actuación y procedimientos de las autoridades de tránsito.</p> <p>De acuerdo con lo anterior este código nacional transito nos guía a cumplir diversas normativas que son para seguridad de usuario o de la sociedad, este código cuenta con 170 artículos de para ser cumplimiento, para la modelación que se está realizando trabajaremos capitulo XI "Límites de Velocidad" ya que pretendemos aumentar las velocidades en la ciudad.</p>

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

### ENFOQUE METODOLÓGICO

Enfoque del proyecto es cuantitativo, donde se estimará una tarifa mediante encuestas, recolección de información, planteamiento de ecuaciones que nos arrojará resultados de análisis y a partir de esto dar claridad de la viabilidad de la hipótesis y el modelo establecido.

Se busca reorganizar y alcanzar los objetivos propuestos de la identificación y formulación de los valores de costos, previamente se desarrolló o se buscó la actualización de cada componente con una evaluación económica provisional. Con este fin se adoptó, en la medida de lo posible, de mantener un valor estándar, fijándose en una serie de puntos de estudios predeterminados y orientándonos en proyectos con enfoque de desarrollo internacional, con esto se diagnosticó que se puede realizar el estudio de un modelo de tarificación vial en cualquier zona y por supuesto enfocándose paso a paso con el tema de estudio.

Los puntos de estudio son: Valor del costo privado del uso del automóvil en Bogotá, costo social de un viaje para un vehículo individual o automóvil, punto de equilibrio o demanda del modelo de tarificación vial, tarifa por congestión para la ciudad de Bogotá, diseños experimentales e investigaciones basadas en cifras (Datos).

## TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que estudiamos es analítica ya que se pretende el desarrollo de un modelo donde nos basamos en variables de estudio en la cual se desarrollara un método de modelación de tarificación que permite hacer una comparación de resultados de acuerdo con investigaciones realizadas en la ciudad.

## FASES

La metodología para este proyecto es conocer los diferentes instrumentos que nos permitirá desarrollar un modelo de tarificación vial y una tarifa por congestión vial para la ciudad de Bogotá y se establecerá en las siguientes actividades o fases:

<b>FASE I – RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>● Búsqueda de información para la creación del modelo de tarificación vial.</li><li>● Buscar información en las instituciones (el Consejo de Bogotá, Alcaldía mayor, y Secretaria de movilidad) de la ciudad.</li><li>● Desarrollo del marco conceptual y diseño meteorológico</li></ul>
<b>FASE II –PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>● Establecer los costos privados de un automóvil (costos variables y fijos).</li><li>● Estimar una función respecto al flujo vehicular (q).</li><li>● Plantear ecuaciones (costos privados, costos sociales, y demanda) en función del flujo vehicular (q).</li></ul>

<b>FASE III–DESARROLLO DEL MODELO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de la gráfica de costos privados y sociales.</li> <li>• Estudio de demanda.</li> <li>• Análisis de datos.</li> </ul>
<b>FASE IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concluir sobre los resultados de los costos privados, costos sociales, demanda y costos por congestión.</li> <li>• Recomendar sobre planeaciones para la disminución de congestión en la ciudad a partir de diferentes modelos de tarificación vial.</li> </ul>

## **DETERMINACIÓN DE ECUACIONES, GRAFICAS E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE TRAFICACIÓN VIAL PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

### **COSTOS PRIVADOS PARA LA UN AUTOMÓVIL**

De acuerdo con el antecedente de proyecto de acuerdo 171 "por el cual se crea en Bogotá distrito capital la tasa de congestión y se dictan otras disposiciones", establece metodologías de aplicación que permite determinar los costos que establecen durante un viaje, los costos iniciales a encontrar son los costos privados ("C") de un automóvil, que dar a conocer el consumo que requiere el automóvil durante el uso de la vía o la infraestructura por donde transita el vehículo, entonces se establece que los costos privados (C) de un automóvil se basa en la suma de los costos Variables (lubricantes, combustibles, llantas y

mantenimiento) y los costos fijos (seguros e impuestos) dado en pesos por kilómetro transitado:

A continuación tenemos que el costo privado está dado por:

$$C = CV (\$/km) + CF(\$/km) \text{ (Ec. 1)}$$

Dónde:

C: Costo privado se expresa (\$/km)

CV: Costo variable se expresa (\$/km)

CF: Costo fijo se expresa (\$/km)

A continuación demostramos el proceso para determinar los costos privados, para hallar estos costos establecemos dos tipos de costos:

**Costos variables:** corresponde a combustible, lubricantes, llantas, mantenimiento, y parqueadero, para establecer los precios se realizó un estudio donde se estableció el siguiente procedimiento y datos:

- Combustible para establecer el precio por kilómetro se realizó lo siguiente: de acuerdo con el ministerio de minas el precio del combustible para el año presente es de \$ 8.365 pesos/galón a continuación se consultó cuanto es el rendimiento de un galón en kilómetros por lo cual se encontró que para la ciudad estaba entre 35 y 49 kilómetros, por lo tanto establecimos un promedio para establecer el valor:

$$\text{Combustible} = \frac{8.365 \$}{42 \text{ km}} = 199,17 \$/km$$

- Lubricantes se comprende por el cambio del aceite en lo cual se da en: se determinar el valor del cambio de lubricante por medio de encuestas en diferentes talleres de cambio, donde se da como resultado un valor promedio de \$ 65.000 pesos, por lo cual es recomendado realizar el cambio cada 5.000 kilómetros según los mecánicos y propietarios de vehículos, por lo tanto se estableció la siguiente fórmula para hallar la tarifa en pesos por kilómetro:

$$Lubricante = \frac{65.000 \$}{5.000 km} = 13,00 \$/km$$

- Llantas aquí comprende el cambio de las cuatro llantas en cual tiene un valor de \$ 189.900 este valor es un promedio de los diferentes tipos de llantas para automóvil, como referencia es aconsejable cambiar las llantas cada 40.000 kilómetros o cada 2 años por lo cual el valor peso por kilómetro es:

$$Llantas = \frac{(189.900 \times 4) \$}{40.000 km} = 18,99 \$/km$$

- El mantenimiento de un automóvil se da por la revisión del motor, eléctrica, parte interna (sillas, cojineria, etcétera) y el cambio de repuestos dañados según encuestados diferentes mecánicos, este mantenimiento tiene un costos aproximado de \$ 115.000 en el cual se realiza cada 5.000 kilómetros:

$$Matenimiento = \frac{(115.000) \$}{5.000 km} = 23,00 \$/km$$

- El parqueadero de un vehículo particular está dado por el valor de parqueadero en una hora dividido la velocidad a flujo libre, según la secretaria de movilidad el valor de parqueadero para el 2011 el minuto es de \$ 67 pesos y la velocidad a flujo libre para la ciudad de Bogotá según la secretaria de movilidad y código de tránsito y transporte es de 60 km/hora:

$$\text{estacionamiento o parqueadero} = \frac{(67 \text{ min} * 60 \text{ min}) \$/\text{hora}}{60 \text{ km/hora}} = 67 \$/\text{km}$$

De acuerdo con los resultados arrojados se da a conocer la siguiente tabla 1:

**Tabla 1. Costos variables para un automóvil**

<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$/Km</b>
Combustible	\$199.17
Lubricantes	\$13.00
Llantas	\$18.99
Matenimiento	\$23.00
Estacionamiento o parqueadero	\$67.00
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$321.16</b>

Fuente: Autores.

**Costos fijos:** son los impuestos y seguros que se requieren para la utilización del automóvil, se contempla en lo siguiente:

- Impuestos son aquellos establecidos por el gobierno, el valor depende del tipo de vehículo, según la información encontrada un automóvil paga aproximadamente entre \$ 280.000 y \$ 361.000 con un recorrido anual aproximadamente de 20.000 kilómetros, entonces sacamos un promedio para hallar un valor para el cálculo:

$$\text{Impuestos} = \frac{\left(\frac{361.000 + 280.000}{2}\right)}{20.000 \text{ km}} = 16,03 \text{ $/km}$$

- Seguros que se requieren para un automóvil y requeridos por el tránsito el SOAT “seguro del estado”, tiene un valor aproximado entre 231.700 y 391.000 esto depende del cilindraje y año del vehículo, el pago de este seguro se hace anualmente con un uso aproximado de 20.000 kilómetros:



$$Seguros = \frac{\left(\frac{231.700+391.000 \$}{2}\right)}{20.000 \text{ km}} = 15,57 \$/\text{km}$$

Establecemos los siguientes precios de los costos fijos en la tabla 2:

**Tabla 2. Costos fijos para un automóvil**

<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>\$/Km</b>
Impuestos	\$16.03
Seguros	\$15.57
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$31.59</b>

Fuente: Autores.

Después de establecer las tablas y tarifas de los costos variables y fijos calculamos los costos privados para un vehículo particular, de acuerdo con la ecuación 1:

$$CP = CV \text{ C}(\$/\text{km}) + CF(\$/\text{km})$$

$$CP = 321,16 \$/\text{km} + 31,59\$/\text{km}$$

$$CP = 352,75 \$/\text{km}$$

Continuando con la elaboración del modelo de tarificación vía, establecemos los costos privados en función del flujo vehicular ("q" (N° vehículos)) que se presenta en la ciudad, entonces determinamos la siguiente ecuación:

$$CP(q) = CP + \left[\frac{1}{v(q)}\right] vst \text{ (Ec. 2)}$$

De acuerdo con la ecuación establecida anteriormente decimos:

CP (q): costos privados en función de flujo vehicular(\$/N° veh.).

CP: cálculo de los costos variables y fijos (\$/km)

V (q): velocidad media (km/h).

VST: valor subjetivo del tiempo (\$/hora).

De acuerdo con la tabla 1 y 2 obtenemos el cálculo de los costos variables y fijos de un vehículo particular, para determinar la velocidad media en función de flujo vehicular para la ciudad, nos basamos en la ecuación dada para un modelo lineal del libro de Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones<sup>13</sup> en la cual está dada por lo siguiente:

$$v = v_i - \left(\frac{v_i}{k_c}\right) q \text{ (Ec. 3)}$$

Dónde:

V: velocidad media (km /h)

q: flujo vehicular (veh/h/carril)

Vi: velocidad media a flujo libre (km /h)

Kc: densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

Dada las ecuaciones 2 y 3 establecemos la ecuación de los costos privados en función del flujo vehicular, entonces con los valores encontrados en cálculo de la ecuación 1, el resultado dado es de 352,75 \$/km esto son los costos variables y fijos de un automóvil, el valor subjetivo tomado es de US\$1,5 por hora o \$ 2892

---

<sup>13</sup>REYES S., R. C. y CÁRDENAS, J. ingeniería de tránsito fundamentos y aplicación. 8ª edición. Alfa omega. México. Enero de 2007. Pág. 295.

hora este valor fue tomado del libro “Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá”, y para la estimación de la velocidad media según la cifras 2012 de la secretaria de movilidad da que la velocidad media a flujo libre de la ciudad de Bogotá es de 24.20 km/h<sup>14</sup> y  $(v_i/k_c) = 0,010$  esta condición es a flujo libre tomada del libro del libro de ingeniería de tránsito<sup>15</sup>, dado lo anterior establecemos que la ecuación 3 está estructurada por lo siguiente:

$$CP(q) = CP + \left[ \frac{1}{v_i - \left(\frac{v_i}{k_c}\right) q} \right] vst \text{ (Ec. 2)}$$

$$CP(q) = 352,75 \text{ \$/km} + \left[ \frac{2.892 \text{ \$/hora}}{24.20 \text{ km/h} - 0,010q} \right] \text{ (Ec. 4)}$$

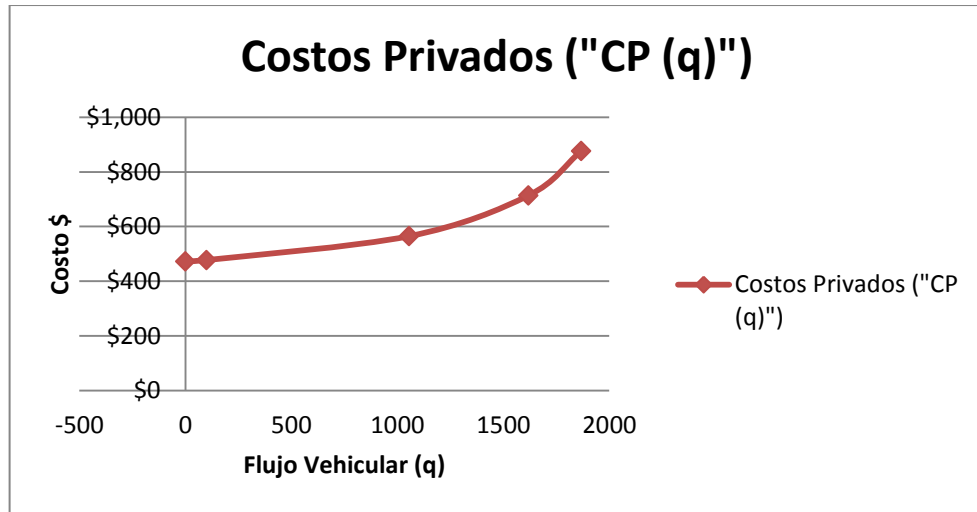
A continuación graficamos los costos privados en la función de flujo vehicular, entonces para realizar la gráfica tomamos el 0,1% del parque automotor de vehículos particulares (1'618.834), por lo tanto nuestro Flujo vehicular ( $q=1.618,834$  veh):

---

<sup>14</sup>Movilidad de cifras 2012. Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría de movilidad. 2012. Ilustración 23. Pág. 31.

<sup>15</sup>REYES S., R. C. y CÁRDENAS, J. ingeniería de tránsito fundamentos y aplicación. 8ª edición. Alfa omega. México. Enero de 2007. Pág. 302.

Grafica 1. Costos privados



Fuente: Autores.

## COSTO SOCIAL DE UN VIAJE PARA UN VEHÍCULO INDIVIDUAL O AUTOMÓVIL

Para el cálculo de los costos sociales de un automóvil en función del flujo vehicular está dada la ecuación de los costos privados (Ec. 4) más la suma de la derivada de la ecuación 4:

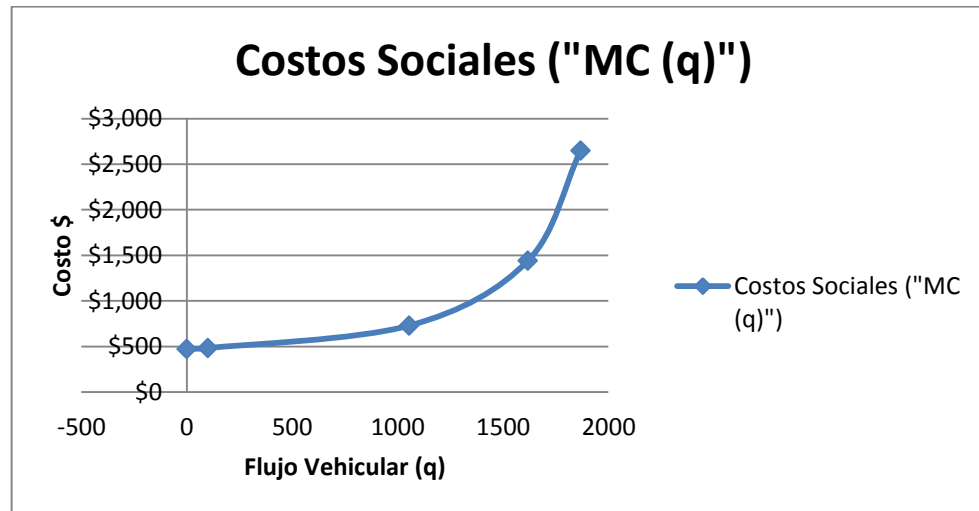
$$MC(q) = CP(q) + CP'(q) \times q \text{ (Ec. 5)}$$

Entonces establecemos que la ecuación de los costos sociales está estructurada por los siguientes factores:

$$MC(q) = 352,75 \text{ \$/km} + \left[ \frac{2.892 \text{ \$/hora}}{24,20 \text{ km/h} - 0,010q} \right] + \left[ \frac{28,92 q \text{ \$/hora}}{(2,20 \text{ km/h} - 0,010q)^2} \right] \text{ (Ec. 6)}$$

Dada la ecuación 6 de los costos sociales graficamos en función del flujo vehicular tomando el 0,1% del parque automotor de vehículos particulares (1'618.834), por lo tanto nuestro Flujo vehicular ( $q=1.618,834$  veh):

**Grafica 2.Costos privados**

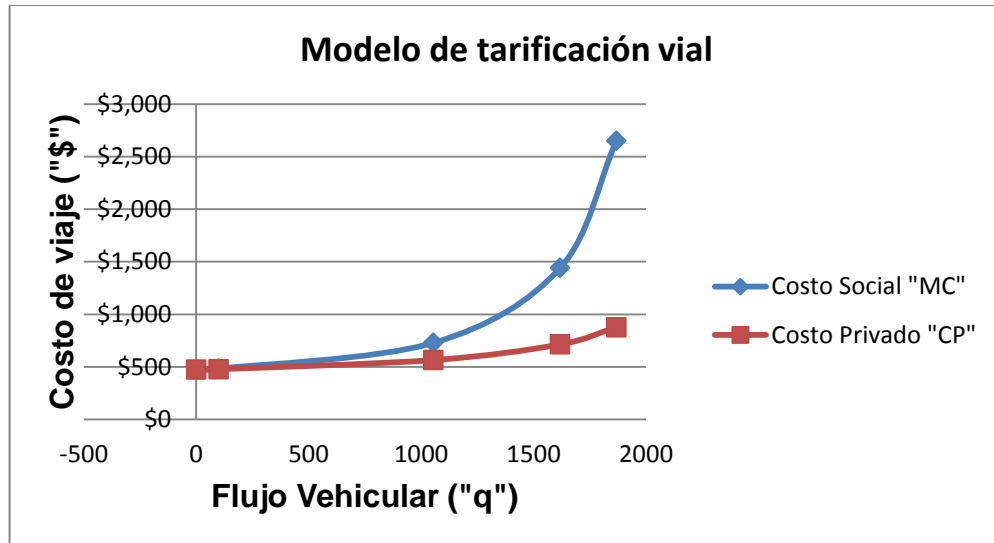


Fuente: Autores.

## **MODELO DE TARIFICACIÓN VIAL PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

Continuando profundamente con el desarrollo del modelo de tarificación vial para la ciudad, tomamos las gráficas de los costos privados y costos sociales para determinar el comportamiento de los dos costos durante el uso de la vía, entonces de acuerdo con los datos arrojados en los costos en función del flujo vehicular y graficamos el modelo.

**Grafica 3. Modelo de tarificación vial para la ciudad de Bogotá**



Fuente: Autores.

### **PUNTO DE EQUILIBRIO O DEMANDA DEL MODELO DE TARIFICACIÓN VIAL**

Siguiendo con el proceso del modelo de tarificación vial para la ciudad de Bogotá, establecemos la demanda “P” que se presenta en las curvas de la gráfica 3, de acuerdo a lo anterior establecemos P en función del flujo vehicular “q”, entonces utilizamos el método de mínimos cuadrados para determinar la ecuación de la P en función q, determinando la gráfica 3, tomamos dos puntos cercanos que cumplan para el trazo de una recta decreciente que se determina como la recta de la demanda P, de acuerdo con el desarrollo de los mínimos cuadrados tomamos dos puntos uno que es de los costos privados y otro de los costos sociales, observado la gráfica 3 tomamos los siguientes datos establecidos en la tabla :

**Tabla 3. Datos de costos privados y costos sociales para el desarrollo de los mínimos cuadrados**

<b>DEMANDA "q"</b>						
N°	COSTOS	FLUJO VEHICULAR (q) (veh/h/carril)	COSTO \$	q x \$	q <sup>2</sup>	\$ <sup>2</sup>
1	COSTOS PRIVADOS	1,618	\$1,441	\$2,331,538	2,617,924	\$2,076,481
2	COSTOS SOCIALES	1,868	\$877	\$1,638,236	3,489,424	\$769,129
<b>Σ</b>		<b>3,486</b>	<b>\$2,318</b>	<b>\$3,969,774</b>	<b>6,107,348</b>	<b>\$2,845,610</b>

Fuente: Autores.

Establecida la tabla 3 procedemos a determinar la ecuación de la demanda de acuerdo con la gráfica 3, según la literatura para establecer la demanda tomamos la siguiente ecuación lineal:

$$P(q) = A + Bq \text{ (Ec. 7)}$$

Donde A y B están dados por las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\sum \$ \sum q^2 - \sum q \sum q \times \$}{N \sum q^2 - (\sum q)^2} \text{ (Ec. 8)}$$

$$B = \frac{N \sum q \times \$ - \sum q \sum \$}{N \sum q^2 - (\sum q)^2} \text{ (Ec. 9)}$$

Dónde:

q= flujo vehicular.

\$ = costo.

N = número de datos o interacciones.

Establecidas las ecuaciones 8 y 9 reemplazamos los datos obtenidos en la tabla 3:

$$A = \frac{(\$ 2.318)(6'107.348) - (3.486)(\$ 3'969.774)}{2(6'107.348) - (3.486)^2}$$

$$A = \frac{318'200.500}{62.500}$$

$$A = 5.091,21$$

$$B = \frac{2(\$ 3'969.774) - (3.486)(\$ 2.318)}{2(6'107.348) - (3.486)^2}$$

$$B = \frac{- 141.000}{62.500}$$



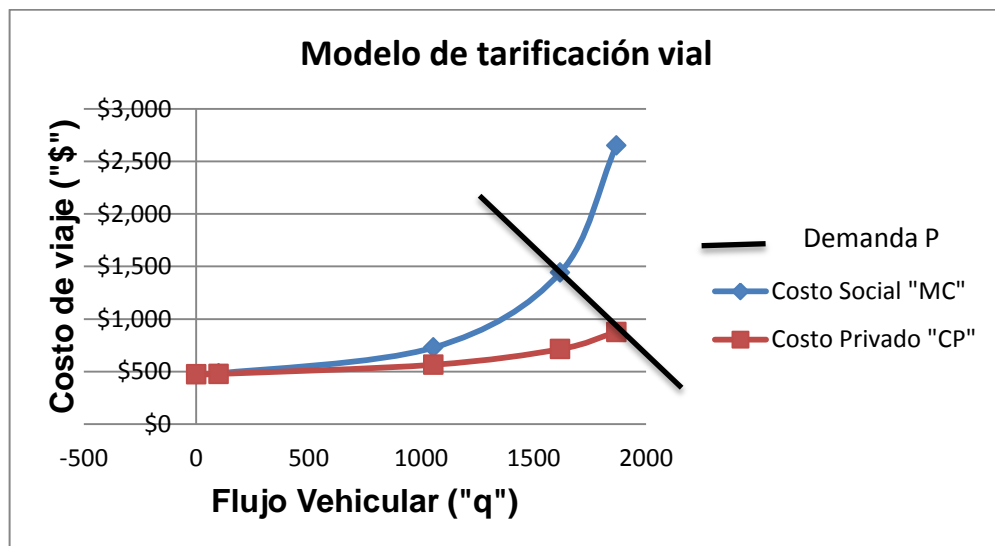
$$B = -2.26$$

Obteniendo A y B reemplazamos los datos de la ecuación 7:

$$P(q) = 5.091,21 - 2,26 \times q \text{ (Ec. 10)}$$

Dada la ecuación 10 se grafica la recta de la demanda en el modelo de tarificación:

**Grafica 4. Recta de la demanda en el modelo de tarificación vial**



Fuente: Autores.

Para determinar el punto de equilibrio de la demanda tomamos los dos puntos de estudiados de la demanda que son uno de costo privados y otro del costo social, los puntos escogidos el flujo vehicular, entonces se establece lo siguiente:

$$\text{Punto de equilibrio} = \left( \frac{1.868 - 1.618}{2} \right) + 1.618$$

$$\text{Punto de equilibrio} = 1.743$$

Encontrado el punto de equilibrio que es cuando se presenta un flujo vehicular de 1.743 (veh/h/carril).

## **TARIFA POR CONGESTIÓN O COSTO POR CONGESTIÓN PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

La tarifa o costos congestión la determinamos de la siguiente forma, tomamos los dos puntos establecidos en la demanda y el punto de equilibrio (1.743 (veh/h/carril)) encontrado este valor lo reemplazamos en las ecuaciones 4 y 6, dado los resultados se procede a sacar la diferencia que hay entre ambos costos:

$$CP(q) = 352,75 \$/\text{km} + \left[ \frac{2.892 \$/\text{hora}}{24,20 \text{ km/h} - 0,010(1.743)} \right]$$

$$CP(q) = \$ 780$$

$$MC(q) = 352,75 \text{ \$/km} + \left[ \frac{2.892 \text{ \$/hora}}{24,20 \text{ km/h} - 0,010(1.743)} \right]$$

$$+ \left[ \frac{28,92 (1.743) \text{ \$/hora}}{(24,20 \text{ km/h} - 0,010(1.743))^2} \right]$$

$$MC(q) = \$ 1.880$$

$$Diferencia = MC(q) - CP(q)$$

$$Diferencia = \$ 1.880 - \$ 780$$

$$Diferencia = 1.100 \text{ \$/carril}$$

De acuerdo con el resultado estimado de la diferencia de los costos privados y costos sociales da un valor de 1.100 \$/carril, esto es aplicado para un solo carril, ya que nuestras vías cuentan entre 2 a 4 carriles, realizaremos un promedio de las vías de la ciudad, entonces multiplicamos el resultado dado por el promedio de carriles, para el ejercicio tomaremos 2 carriles ya que la mayoría de las vías son de dos carriles en promedio:

$$Valor \text{ vía} = 1.100 \text{ \$/carril} \times 2 \text{ carriles}$$

$$Valor \text{ vía} = 2.200 \$$$

Dado el resultado anterior hallamos el cobro o tarifa por congestión "Cc", tomando el valor de la vía (2 carriles), los multiplicamos por el promedio de viaje de un

automóvil en la ciudad que es de 24,20 km este dato es tomado de la secretaria de movilidad en el boletín de cifras del 2012<sup>16</sup> de recorrido por vehículo:

$$Cc = Valor\ de\ la\ via \times promedio\ de\ viaje (Ec. 11)$$

$$Cc = \$ 2.200 \times 24,20\ km$$

$$Cc = \$ 53.240$$

El cobro o tarifa de congestión para el desarrollo del modelo de tarificación vial para ciudad de Bogotá nos dio como resultado de \$ 53.240 pesos colombianos esta tarifa es el resultado de un recorrido de 24,20 km, es decir que si se quiere determinar el valor por kilómetro se divide en el número de kilómetros de viaje y así se determina el valor del kilómetro, para el modelo propuesto en el modelo desarrollado es de 2.200 pesos por kilómetro.

---

<sup>16</sup>Movilidad de cifras 2012. Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria de movilidad. 2012. Ilustración 23. Pág. 31.

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con las ecuaciones establecidas y realizados los cálculos para el desarrollo de las gráficas damos a conocer el análisis de lo siguiente:

### 8.1. Costos privados

Durante el desarrollo de los costos privados en función del flujo vehicular “q”, se estableció una ecuación la cual permitió el desarrollo de la gráfica de los costos privados dando a demostrar una curva de comportamiento del flujo que se presenta en la ciudad, a continuación demostramos los resultados dados en la ecuación 4:

$$CP(q) = 352,75 \$/\text{km} + \left[ \frac{2.892 \$/\text{hora}}{24.20 \text{ km/h} - 0,010q} \right] \text{ (Ec. 4)}$$

Dada la ecuación anterior se implementaron diversos flujos vehiculares donde se arrojó un costo durante diversos flujos vehiculares por una vía de la ciudad de Bogotá como se da a conocer la siguiente tabla:

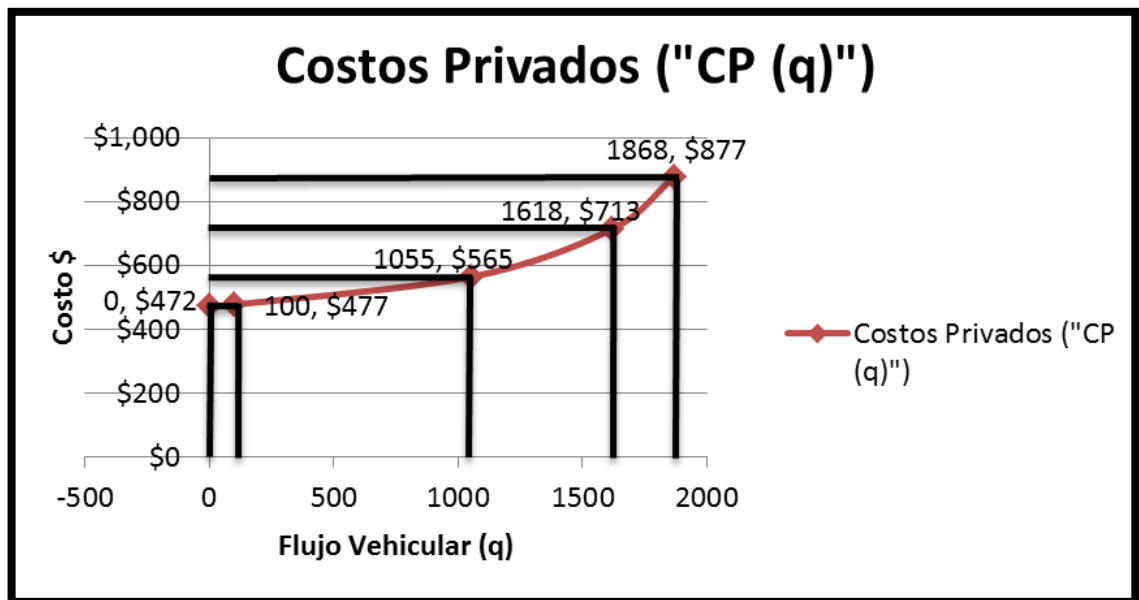
**Tabla 4. Análisis de costos privados**

Flujo Vehicular "q" (veh/hora/carril)	Costos Privados "CP" \$/km
0	\$472.25
100	\$477.41
1055	\$564.62
1618	\$713.35
1868	\$876.66

Fuente: Autores.

Establecida la tabla 3. Se determina la curva de los costos privados como se da a conocer la siguiente figura:

**Figura 4. Curva de los costos privados**



Fuente: Autores.

Continuando con los análisis de los costos privados y con la figura 4. Dada decimos que flujo vehicular (veh/h/carril) “q” es q = 0 el valor es \$ 472,66, entonces establecemos el valor inicial para el uso de la vía, q = 100 el valor es \$ 477,41 de acuerdo con el resultado y el anterior el incremento del costo es mínimo a diferencia cuando q = 1.055 el valor es \$ 564,62, q = 1.618 el valor es \$ 713,35 y q = 1.868 el valor es \$ 876,66 dado este resultado decimos lo siguiente:

- Entre un q = 0 y q = 100 se da un aumento de \$ 4,75 pesos cuando se incrementan 100 (veh/h/carril) con esta diferencia damos a conocer que el aumento del costo es mínimo.
- Entre un q = 100 y q = 1.055 se da un aumento de \$ 87.21 pesos cuando se incrementan 955 (veh/h/carril).
- Entre un q = 1,055 y q = 1,618 se da un aumento de \$ 148,73 pesos cuando se incrementan 563 (veh/h/carril).
- Entre un q = 1.618 y q = 1.868 se da un aumento de \$ 163.31 pesos cuando se incrementan 250 (veh/h/carril).

Dado las diferentes demostraciones anteriores de q decimos que cada vez que se incrementa en q el valor de los costos privados se da un aumento considerable.

## **8.2. Costos sociales**

Para determinar la curva de los costos sociales en función de q se determina la ecuación 5. La cual permite la elaboración de la siguiente tabla:

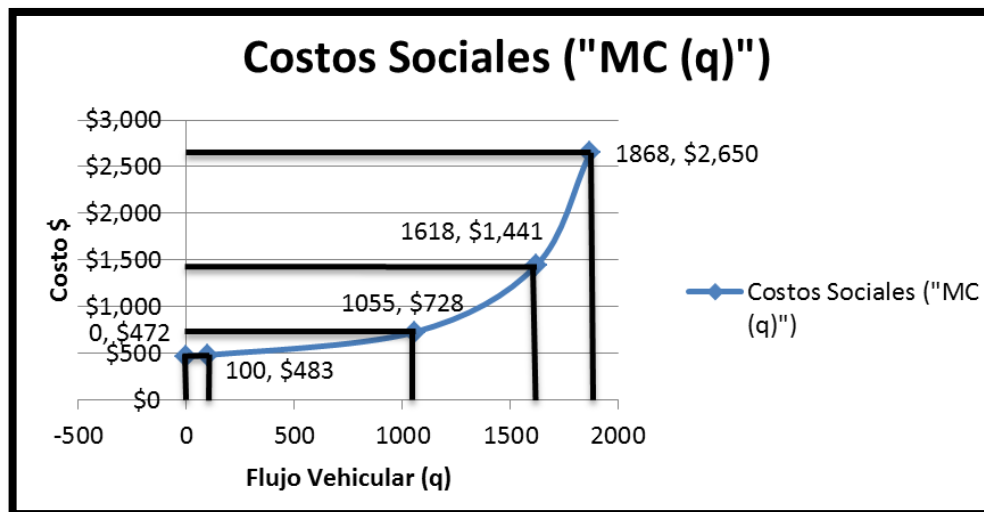
Tabla 5. Análisis costos sociales

Flujo Vehicular "q" (veh/hora/carril)	Costos Sociales "MC" \$/km
0	\$472.25
100	\$482.78
1055	\$728.37
1618	\$1,440.84
1868	\$2,649.62

Fuente: Autores.

Dada la tabla 4. Determinamos la gráfica de los costos sociales donde se demuestra la curva de estos costos analizada en la siguiente figura:

Figura 5. Curva costos sociales



Fuente: Autores.



Analizando de la curva los costos sociales demostrado en la figura 5. Demuestra los siguientes análisis en función del flujo vehicular (veh/h/carril) "q", entonces se determina lo siguiente:

- Cuando esta entre  $q = 0$  y  $q = 100$  se da un aumento de \$ 10,53 pesos cuando se incrementan 100 (veh/h/carril) con esta diferencia damos a conocer que el aumento del costo es mínimo.
- Cuando esta entre  $q = 100$  y  $q = 1.055$  se da un aumento de \$ 245,59 pesos cuando se incrementan 955 (veh/h/carril).
- Cuando esta entre  $q = 1,055$  y  $q = 1,618$  se da un aumento de \$ 712,42 pesos cuando se incrementan 563 (veh/h/carril).
- Cuando esta entre  $q = 1.618$  y  $q = 1.868$  se da un aumento de \$ 1.208,78 pesos cuando se incrementan 250 (veh/h/carril).

Analizando lo anterior se demuestra que cuando se aumenta el flujo vehicular el valor de los costos incrementa.

De acuerdo con el análisis realizado se determina que para la utilización de la vía se requiere pagar unos costos, ya que este modelo es de estudio económico de vehículo particular a momento de transitar por una vía de la ciudad.

## 9. CONCLUSIONES

- Se determinó que el costo privado depende de unos costos constantes los cuales son; costos variables y costos fijos donde se establece donde se establece un costo privado constante, este costo es necesario para la conformación de la ecuación del costo privado en función o variable del flujo vehicular ( $q$ ) en la cual permite un estudio de los costos privados para la ciudad de Bogotá, de acuerdo a lo anterior se observó que cuando hay un incremento en el flujo vehicular en la vía se incrementa el costo privado.
- El costos social se halló con una diferencia de costo cuando el flujo vehicular tiende aumenta de los 100 (veh/h/carril), eso nota un crecimiento de los costos cada vez que ingresa un usuario a la vía, el costos social se estableció por el costo privado más su derivada, dado una curva extensa a diferencia de la curva de los costos privados.
- La demanda se encontró aplicando la teoría y modelo de los mínimos cuadrados, con la cual esta metodología permitió establecer la recta de demanda para la tarificación vial de la ciudad, partiendo de encontrar la demanda se estableció el punto de equilibrio entre los puntos de los costos sociales (1.618, \$ 1.441) y costos privado (1.868, \$ 887), obteniendo los puntos mencionados se determinó el punto medio entre 1.618 y 1.868 el cual fue 1.743 el cual adoptamos como el punto de equilibrio.

- Se estableció el cobro o tarifa por congestión estableciendo la diferencia entre las ecuaciones de los cotos privados y sociales, reemplazando el resultado establecido en el punto de equilibrio, como resultado obtenido fue de \$ 1.100 pesos carril, dado el valor anterior se multiplico un promedio de dos carriles que tienen las vías de la ciudad de Bogotá, con un resultado de \$ 2.200 vía/km, y el cobro o tarifa por los kilómetros de viaje de un vehículo fue \$ 53.240 para un viaje de 24.20 km de distancia de recorrido.

## 10.RECOMENDACIONES

- Para establecer la tarifa por congestión, se recomienda realizar un estudio real de cuál es el recorrido de un viaje para un vehículo particular para las diferentes zonas, localidades y otros puntos de la ciudad de Bogotá.
- Estimar velocidades promedios más altas para transitar por la ciudad a flujo libre.
- Investigar sobre el valor subjetivo de acuerdo a la zona para el implementar el modelo de tarificación vía.
- Obtener e indagar sobre el flujo vehicular que se presente sobre las localidades, zonas y puntos de mayor tránsito.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Calculo de la tarifa técnica para el servicio público de transporte mixto para la ciudad de Bogotá D. C. Secretaria de movilidad. Bogotá D. C. Abril de 2009.
- GARBER, N. J. Y HOEL, L. A. Ingeniería de tránsito y carreteras. 3ª edición. Thomson. Universidad de Virginia. 2005.
- HURST, E., Li, G. Y PUGSLEY, B. (2010). Are Household Surveys Like Tax Forms: Evidence from Income Underreporting of the Self (Working Paper No. 16527). National Bureau of Economics Research.
- MEDRANO GALLO, Sebastián. Valoración contingente por reducción de congestión vial en Bogotá: Estimación de la disposición a pagar por estratos socio-económicos. Universidad de los Andes. Bogotá D. C. Mayo de 2011.
- MEDINA, Carlos Alberto. Y VÉLEZ, Carlos Eduardo. Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular. Banco de la República. Bogotá D. C. Octubre de 2011.
- MENDIETA, J. C. (2005). Manual de valoración económica de bienes no mercadeables: aplicaciones de las técnicas de valoración no mercadeables y el análisis costo beneficio y medio ambiente. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE, Ediciones Unidades.
- MENDIETA, J. C. Y PERDOMO, J. A. (2008). Fundamentos de economía del transporte: teoría, metodología y análisis de política. Bogotá:

Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE, Ediciones Uniandes.

- PROYECTO DE ACUERDO 171 DE 2011. "Por el cual se crea en Bogotá Distrito Capital la tasa de congestión y se dictan otras disposiciones". Consejo de Bogotá. (en línea). Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=42999>.
- PRUD'HOMME, Rémy y BOCAREJO, Juan Pablo. La congestión de Londres: una evaluación económica provisional. Universidad de Paris XII. Paris. 19 Abril 2005.
- REYES S., R. C. Y CÁRDENAS, J. Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicación. 8ª edición. Alfa omega. México. Enero de 2007.