

**PROPUESTA DE UNA TIPOLOGÍA ADECUADA DE PEAJE URBANO PARA EL
CENTRO AMPLIADO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**YAURY IVAN DIAZ LOPEZ
GABRIEL ORLANDO SANGUINO PÁEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C.**

2021

**PROPUESTA DE UNA TIPOLOGÍA ADECUADA DE PEAJE URBANO PARA EL
CENTRO AMPLIADO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**YAURY IVAN DIAZ LOPEZ
GABRIEL ORLANDO SANGUINO PÁEZ**

Trabajo de grado para obtener el título de magister en infraestructura vial.

**Directora
Andrea Stefannia Arévalo Tamara
Magister en Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ D.C.
2021**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 28 de julio de 2021

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5. ESTADO DEL ARTE	16
6. METODOLOGÍA.....	26
6.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	27
6.2 CONTEXTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE ESTUDIOS REALIZADOS PARA COBROS POR CONGESTIÓN A NIVEL NACIONAL:	29
6.2.1 Información secundaria:	45
7. IMPACTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS	57
7.1 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA MODELACIÓN DEL PEAJE	57
7.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PARA EVALUAR LAS ALTERNATIVAS DE PEAJE URBANO.	65
7.2.1.1 Construcción del modelo de tráfico.....	65
7.2. Limitaciones de la simulación.....	70
7.3 Volumen vehicular y proyección del tráfico a futuro.....	71
7.4 Resultados de la modelación	72
7.5 EVALUACIÓN DE MATRIZ MULTICRITERIO	77
9. RECOMENDACIONES A FUTURAS INVESTIGACIONES	83
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen casos de estudio	25
Tabla 2. Entidades existentes para el control de cobro por congestión	30
Tabla 2. Lista inicial de alternativas	34
Tabla 3. Lista corta de opciones	38
Tabla 4. Ubicación referencial y distancia de cobro asociado por pórtico	39
Tabla 5. Corredores viales desde la calle 100 hasta la calle 6 y carrera 68 hasta carrera 7ma y circunvalar	46
Tabla 6. Aforos Vehiculares disponibles.....	47
Tabla 7. comparativo y análisis en cada una de las intersecciones.	58
Tabla 8. Límites máximos de para la licencia de estudiantil.....	70
Tabla 9. Sentido Flujos Vehiculares - Volumen HMD	72
Tabla 10. Resultados por corredor evaluado	74
Tabla 11. Desempeño de la red	76
Tabla 12. Matriz de comparación	76
Tabla 13. Matriz multicriterio (Peaje manual y peaje electrónico).	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de Velocidad hora a hora en días hábiles en Bogotá D.C. Año 2017.....	11
Figura 2. Distribución modal en Bogotá D.C. Año 2019.....	12
Figura 3. Evolución del parque automotor en Bogotá D.C. Año 2019	13
Figura 4. Peaje de Singapur.....	17
Figura 5. Peaje de Londres	18
Figura 6. Delimitación del peaje de Londres.....	18
Figura 7. Delimitación del área para zona de cobro en Edimburgo	19
Figura 8. Peaje de anti-congestión de Estocolmo.....	20
Figura 9. Puntos críticos de zonas de pago.....	20
Figura 10. Peaje de Santiago de Chile.....	21
Figura 11. Peaje Autopista Urbana Sur, Ciudad de México.....	22
Figura 12. Peaje Circuito Exterior Mexiquense, Ciudad de México.....	22
Figura 13. Peaje Viaducto Elevado Bicentenario, Ciudad de México	23
Figura 14. Peaje Supervía Poniente, Ciudad de México	23
Figura 15. Peaje en Hollywood (Florida)	24
Figura 16. Peaje urbano en Cartagena de Indias	24
Figura 17. Ubicación Área aferente entre pódicos.....	43
Figura 18. Delimitación del centro ampliado	44
Figura 19. Localización Corredores Viales según tabla 7	56
Figura 20. Sección transversal AV: Calle 26 de Occidente a Oriente.....	66
Figura 21. Sección transversal AV: Calle 26 de Oriente a Occidente.....	66
Figura 22. Sección transversal AV. Carrera 68 de Sur a Norte.....	67
Figura 23. Sección transversal AV. Carrera 68 de Sur a Norte.....	67
Figura 20. Localización de la intersección AK 68 x AC 26.....	68
Figura 21. Construcción del modelo sin proyecto	69
Figura 22. Proyección del tráfico en la red vial.....	71
Figura 23. Red durante la simulación de tráfico.....	73

ANEXOS

Anexo 1 Solicitud mediante oficio de información secundaria de la Secretaría de Movilidad de Bogotá.....	45
Anexo 2. registro Fotográfico,.....	56
Anexo 3. (Proyección de volúmenes en HMD).....	57
Anexo 4. (programa PTV Vissim 2021 versión estudiantil),	73

1. RESUMEN

En el siguiente documento se determinó Proponer una tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

En primer lugar, se realizó un análisis del estado del arte de los peajes urbanos más representativos, implementados a nivel nacional e internacional; durante el desarrollo de esta actividad se estudiaron los casos y las experiencias más representativas en cuestión de implementación de peajes urbanos en donde se destacó el gran avance que tienen los países en utilizar como alternativas de mejoras de movilidad y medio ambiente, sistemas de pagos electrónicos para ingresar hacia las zonas céntricas de las ciudades, dentro de los que se destacaron a nivel internacional, países como; Singapur, Estocolmo, México, Londres, Edimburgo, Chile; y a nivel nacional se cuenta con experiencia en peajes urbanos en la ciudad de Cartagena, así mismo se adelantan estudios en las ciudades como Medellín y Bogotá.

Para evaluar las diferentes alternativas de peajes urbanos, se aplicaron técnicas de microsimulación; utilizando el programa PTV Vissim 2021 versión estudiantil, el cual consistió en una simulación de escala microscópica, y en donde se analizó el corredor vial (AC_26_ENTRE_KR_68_Y_AV. CIRCUNVALAR de la intersección AK 68 X AC 26) para determinar la operación del tránsito, reportada con parámetros como demoras, capacidad, densidades de corredores, entre otros, teniendo en cuenta las condiciones de operación de la red vial actual, futura y con propuestas de intervención; es importante aclarar que para determinar la intersección se analizaron datos secundarios entregados por la Secretaría de Movilidad de Bogotá, en cuestión de volúmenes vehiculares del centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

Una vez se hizo la simulación, se estructuró una matriz multicriterio que permitió evaluar las diferentes tipologías para la implementación de un peaje urbano en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá; finalmente y analizando los resultados de la microsimulación en cuestión de demoras, demanda latente y velocidad de operación, se escogieron dichos parámetros para realizar comparativos cuantitativamente de los diferentes tipos de peajes (Electrónicos y Manual); así mismo, y en línea con las experiencias vividas a nivel Internacional se analizaron características cualitativas de peajes urbanos que permitieron fortalecer la matriz multicriterio en el que se determinó la tipología más adecuada de peaje urbano, en la zona céntrica de la ciudad de Bogotá.

2. INTRODUCCIÓN

Los cobros por congestión son un instrumento importante para la consolidación de un sistema de transporte y movilidad urbana más sostenible, con relación al entorno de las ciudades los cuales brindan una mejora al desplazamiento optimizando el transporte público urbano (Muñoz, et al, 2012).

Para la definición y construcción de alternativas del sistema de cobro por congestión adecuado para la ciudad de Bogotá, fue necesario realizar una evaluación técnica de las principales variables que permitan caracterizar su flexibilidad y facilidad en términos de movilidad para adaptarse a las condiciones de la ciudad, teniendo en cuenta las problemáticas que generan factores como alto flujo vehicular, contaminación ambiental, congestión en áreas de estacionamiento, altos niveles de accidentalidad, falta de un buen servicio en transporte público, entre otros.

Es por ello que se propuso una tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá, por lo cual se desarrolló teniendo en cuenta la siguiente secuencia: Revisión del estado del arte de los peajes urbanos más representativos implementados a nivel nacional e internacional, aplicar técnicas de micro simulación para evaluar las diferentes alternativas de peajes urbanos, y finalmente se estructuró una matriz multicriterio que permitió evaluar las diferentes tipologías para la implementación de un peaje urbano en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá, con sus respectivas recomendaciones y conclusiones referente al desarrollo de este trabajo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

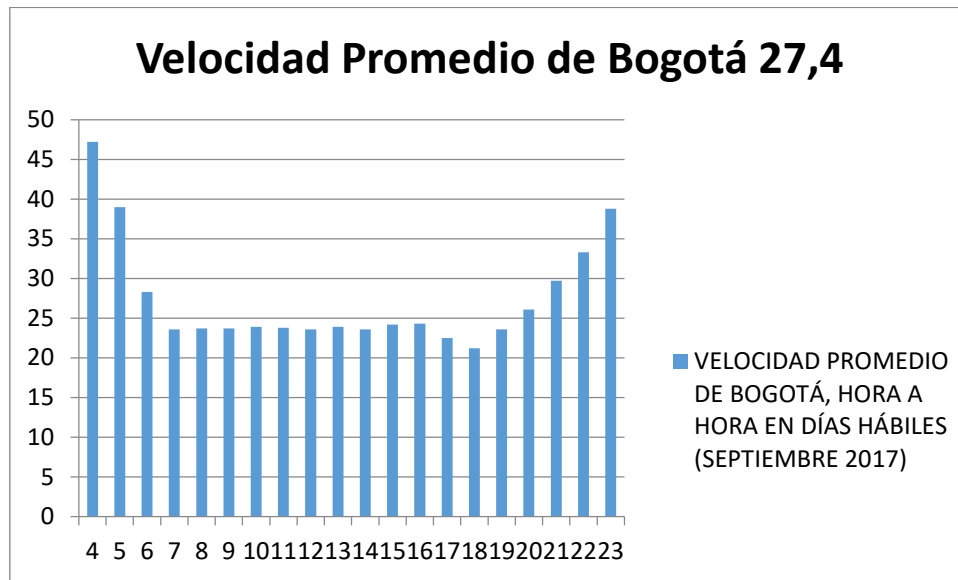
La contaminación ambiental, represamiento y las largas filas de los vehículos generan actualmente la inconformidad y mala calidad de vida a los ciudadanos (Cabello, et al, 2016), que en su cotidianidad tienen que realizar grandes trayectos para movilizarse a sus lugares de trabajo y de residencia.

Uno de los retos más importantes que afronta Bogotá DC durante los últimos años, es mejorar las condiciones de movilidad en la ciudad, disminuyendo los tiempos de desplazamiento y haciendo que exista una mayor confiabilidad en las formas de modalidad de transporte – público – ejecutivo, Transmilenio, vehículo particular, taxi y medios alternativos de transporte. Desde el punto de vista de la transitabilidad resulta evidente que las largas filas de vehículos en la ciudad se han vuelto frecuentes en las horas pico.

La ciudad de Bogotá ha venido implementando la medida del pico y placa, la cual se traduce en la limitación diaria de vehículos particulares y públicos de acuerdo con el número de placa; esta medida durante su aplicación ha sufrido cambios en los horarios, actualmente dicha hora oscila entre las 6:00 am a 8:30 am y de 3:00 pm a 7:30 pm (Secretaría de Movilidad de Bogotá, 2013) generando efectos como el incremento del uso del vehículo particular en las horas valle. Además, esta medida en ciudades como Bogotá, han llevado a que los propietarios de vehículos que cuentan con recursos, adquieran un segundo vehículo para evadir la medida. Según el reporte de “Bogotá como vamos (2008-2019)”, el parque automotor de la ciudad en cuanto a transporte particular para el 2008 era de 911.793 vehículos, para el 2019 tuvo un crecimiento considerable y reportan un total de 2.441.773 vehículos.

A pesar de las medidas tomadas para el mejoramiento de la movilidad, se sigue presentando, un incremento del parque automotor, deficiencia en el servicio público masivo, el cual conduce a una disminución de la velocidad promedio en la ciudad pese a las medidas de administración de la demanda de la malla vial. El promedio de velocidad de desplazamiento en la ciudad al año 2017 se ve reflejado en el siguiente gráfico.

Figura 1. Promedio de Velocidad hora a hora en días hábiles en Bogotá D.C. Año 2017



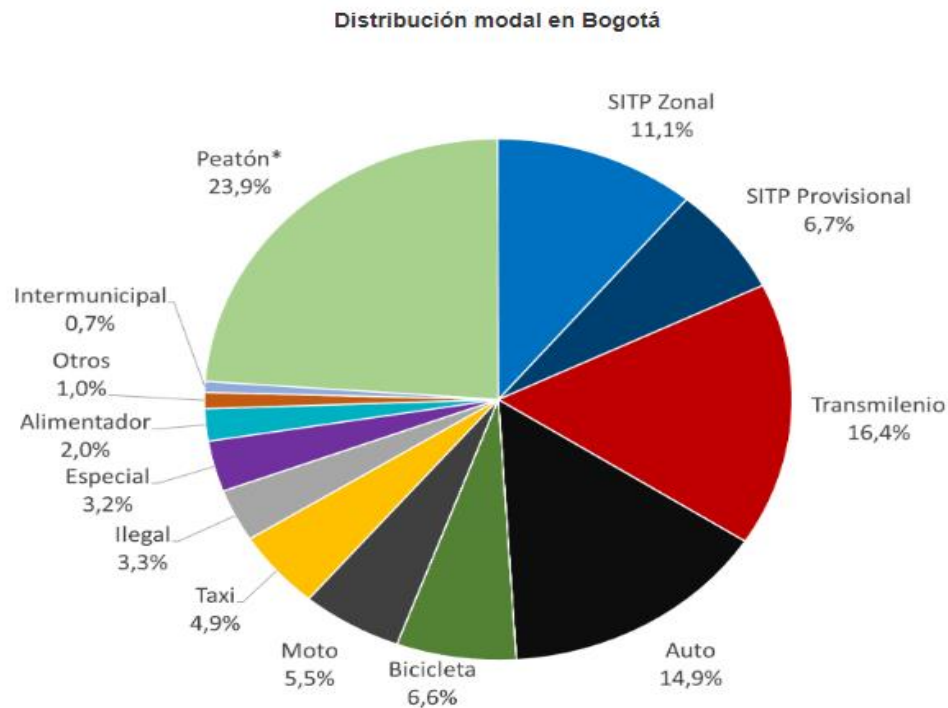
Fuente: Elaboración propia tomando como referencia datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá. Secretaría de Movilidad de Bogotá, (2017). *Observatorio de movilidad Bogotá D.C/2017*. Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Bogotá. https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/documentos/observatorio/Observatorio_de_movilidad_2017_min.pdf

En la figura 2, se puede apreciar que el 14.9% de los habitantes de la ciudad de Bogotá encuestados en el 2019 por la Secretaría de Movilidad, consideran el auto particular como modo de transporte diario. Por otro lado, el transporte público Transmilenio (incluyendo alimentadores y SITP), sigue siendo el modo más empleado con un 36.2%, esto da a saber la importancia de mejorar las condiciones de los usuarios en dicho modo e incentivar su uso en toda la población.

Por otra parte, y tomando como referencia los casos a nivel mundial es sumamente importante traer a colación los datos representativo en cuestión del uso del transporte público; de acuerdo con (Celi Santiago, 2018) el porcentaje de uso de dicho medio de transporte en ciudades como: Hong Kong 81%, Seúl 66%, Singapur 48%, Región de Madrid 34%, París 33%, Londres 28% y Quito 61.5%.

A continuación, se presenta la distribución modal de los viajes de los habitantes de Bogotá:

Figura 2. Distribución modal en Bogotá D.C. Año 2019



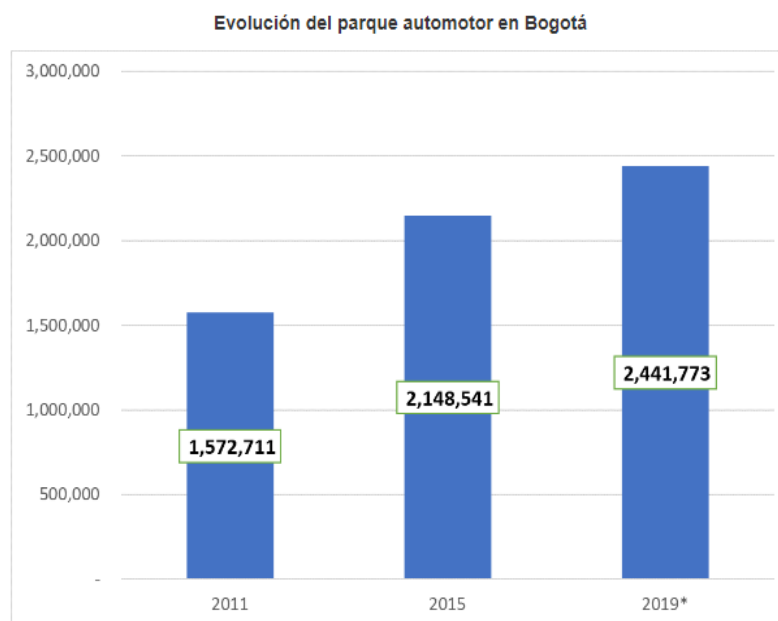
Fuente: Secretaría de Movilidad de Bogotá (2019). *Informe de indicadores encuesta de movilidad de Bogotá*. Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Bogotá. <https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/encuestas-de-movilidad/>

Este crecimiento contribuye de manera significativa al aumento de la congestión en la ciudad, teniendo en cuenta la relación del desarrollo vial con respecto a la circulación del parque automotor, a su vez si se investiga en términos ambientales en países en vías de desarrollo la creciente motorización y extensión del uso del automóvil privado plantea dificultades generalizadas en materia de congestión de tráfico, así como altos costos en el campo ambiental (a nivel mundial se estima que las zonas urbanizadas causarán el 80% de las emisiones de CO₂) (Lupano & Sánchez, 2009), por lo cual genera un incremento de contaminación en el medio ambiente, debido al uso inadecuado e intensivo de automóviles.

Para evaluar los efectos nocivos del uso del carro particular, es importante considerar medidas de impacto: la Environmental Protection Agency –EPA (EPA, 2020) (Agencia de protección del ambiente de Estados Unidos), sostiene que el uso del automóvil particular por una sola persona produce 4.9 toneladas de Co₂ al año,; pero si se usa por varias personas, y al menos se movilizan por viaje 3 personas, se estarían emitiendo 0.98 toneladas de Co₂ al año.

Por otra parte, es importante tener en cuenta el crecimiento del parque automotor en la ciudad, en los últimos años (2011, 2015, y 2019) ha aumentado un 13% como se puede evidenciar en el siguiente gráfico.

Figura 3. Evolución del parque automotor en Bogotá D.C. Año 2019



Fuente: Secretaría de Movilidad de Bogotá (2019). *Informe de indicadores encuesta de movilidad de Bogotá*. Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Bogotá. <https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/encuestas-de-movilidad/>

Teniendo en cuenta lo anterior, indica que la ciudad podrá evaluar y promover varias alternativas para contribuir a la descongestión vehicular como son cobros por congestión, peajes urbanos, transporte de vehículo compartido, bicicleta, entre otros. En este estudio se pretende analizar la Propuesta de una tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

4. JUSTIFICACIÓN

La implementación de una tipología adecuada de peaje urbano, es necesario para mitigar el alto flujo vehicular y las grandes filas de vehículos generadas durante los desplazamientos de los ciudadanos, sobre todo, en la parte céntrica de la ciudad, por tal razón es importante destacar en primera instancia algunos de los casos más exitosos en otros países tras la implementación de cobros por congestión en las zonas urbanas de las ciudades, resaltando los casos de cargo por congestión y los aspectos positivos en los que tiene que ver con disminución del tráfico en zonas congestionadas y sus respectivos beneficios ambientales.

En el 2013, la Secretaría de Movilidad de Bogotá, realizó estudios para contemplar la implementación de estos peajes dentro de la ciudad, se identificaron algunas experiencias a nivel mundial sobre su aplicación. Unos de los casos más antiguos se realizaron en Cambridge y la Ciudad de Singapur en el año 1998, en ambos casos, los estudios fueron motivados por la generación de externalidades asociadas al transporte particular como la contaminación del aire, congestión, entre otras, sin embargo, se llega a la conclusión que el cobro por congestión podría disminuir dichas externalidades siempre y cuando venga acompañado de medidas fiscales, legislación adecuada y planeación.

Para el 2000, en New Castle, se evaluó el impacto ambiental de los cobros por congestión, Se analizó mediante un modelo que la tarifa de congestión reduciría las emisiones de monóxido de carbono y precursores del ozono al reducir el número y duración de los viajes y facilitar velocidades de desplazamiento más eficientes. De la misma forma, en Londres y otras ciudades como Estocolmo, Milán, Beijin, New York, Dallas, Bangkok y Austin, entre otras, se realizaron diferentes estudios relacionados con la contaminación del aire y otras externalidades como la congestión vehicular.

Tomando como referencia las experiencias vividas y las cifras de éxito en los países que han avanzado en la implementación y puesta en funcionamiento de cobros por congestión, es conveniente la instalación de un peaje urbano para mitigar el alto flujo vehicular y las inconformidades por las demoras generadas durante los desplazamientos de los ciudadanos en el centro de la ciudad de Bogotá, así mismo se podrán obtener fondos para la inversión en el área de afeerencia, el cual presenta en su gran mayoría problemas de mantenimiento a la infraestructura vial, un servicio público en mal estado y una señalización deficiente lo que genera problemas en el ámbito de congestión vehicular.

Se debe tener en cuenta la realización de campañas de socialización y concientización a la comunidad para impulsar los aspectos positivos desde el punto de vista ambiental, económico y

social; basados siempre en que se debe contar con una buena calidad de servicio de transporte público y un desarrollo sostenible de la ciudad; en cuanto a, transporte público con capacidad de movilizar una gran cantidad de pasajeros, gestión de tráfico en el área de cobro y en sus alrededores Infraestructura sostenible.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos a razón de cobro por congestión, y la contribución con el medio ambiente, actualmente se están implementando el uso de tarifas para controlar los accesos de vehículos al centro de las áreas urbanas, conocido popularmente como “peajes urbanos”. Sin embargo, la implementación de los mismos ha sido limitado a controversias y debates públicos que esto acarrea, sobre todo por los ingresos generados con el cobro de la tasa y el destino que se le podrían dar, ya sea para intereses particulares o hacia el bien de la comunidad en inversiones a la infraestructura vial o transporte público, entre otras medidas también en la redistribución entre los usuarios; las tarifas a implementar también crean un problema de desigualdad, ya que los usuarios de bajos recursos y los habitantes de la zona de implementación del peaje tienen una capacidad de pagos limitada, temas que resultan ser polémicos a la aceptabilidad política y social; se pretende proponer una tipología adecuada de peaje urbano para la ciudad de Bogotá en su zona de centro ampliado, mitigando las problemáticas de accesibilidad con un análisis en este tipo de estudio.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Revisar el estado del arte de los peajes urbanos más representativos, implementados a nivel nacional e internacional.
- Aplicar técnicas de microsimulación para evaluar las diferentes alternativas de peajes urbanos.
- Estructurar una matriz multicriterio que permita evaluar las diferentes tipologías para la implementación de un peaje urbano en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

6. ESTADO DEL ARTE

En el proceso de revisión del estudio de cobro por congestión implementados a nivel local e internacional se encontraron diferentes sistemas de aplicación, por lo cual se describirán en el presente capítulo como uno de los lineamientos para el desarrollo de este estudio.

La oportunidad de mejorar la sostenibilidad del transporte en las grandes ciudades, conlleva a una medida contributiva al implementar los sistemas de peajes urbanos, generando la reducción significativa del uso del automóvil, incentivando un aumento considerable en el uso del transporte masivo y alternativas sostenibles como la utilización de la bicicleta, circulación en caminata a los distintos lugares de destino, y una elevada disminución de la congestión urbana en el sector de implementación y su entorno (Muñoz & Anguita, 2018).

Las experiencias obtenidas en los países más avanzados a nivel mundial de los sistemas de cobro por congestión, referente a la implementación de peajes urbanos, establecen variados efectos los cuales son importantes para tener como referencia en el marco del análisis del sistema de cobro a implementar en las ciudades que presenten el interés en este tipo de alternativas (Muñoz, et al, 2012).

El sistema de cobro por congestión en Singapur es uno de los más tradicionales iniciando su operación en el año 1975, estableciendo como medidas la imposición de impuestos aplicados a la propiedad del vehículo, elevados gravámenes sobre el combustible y cobros por estacionamiento, el objetivo principal de dichas medidas se basó en la disminución de los altos niveles de congestión vehicular que soportaba la ciudad. A su vez proporcionar una gran cantidad de recursos de ingresos públicos con la finalidad de generar una estrategia importante de transporte en la planificación bien concebida teniendo en cuenta variables como el uso del suelo, optimización de la red de infraestructura vial y un mejoramiento de la gestión para la integración del tráfico, y lograr implementar un modelo de infraestructura vial sostenible en la ciudad. (Muñoz & Anguita, 2018).

El cordón del peaje urbano de Singapur se destaca por tener un ámbito de aplicación de 7.2 Km², involucrando al centro de la ciudad por ser esta ubicación estratégica por el desarrollo económico y social de la misma, y por lo tanto genera una alta concentración de tráfico vehicular, presenta 44 puntos de control mediante dispositivos ERP interno del vehículo, y una jornada de operación continua entre las 7:30 y las 18:30 horas todos los días laborales, y entre las 10:15 y las 14: 00

horas los sábados como alternativa de disminución de la congestión por motivos de tipo comercial (Pozueta Echaverry, 2008).

El sistema de cobro del peaje de Singapur anteriormente se realizaba con una tarjeta que debía estar adherida al parabrisas del vehículo, a medida que se desarrollaron los avances tecnológicos se implantó un sistema electrónico mediante Tag y cámaras de identificación de vehículos evasores, en esta ciudad se realiza el cobro por congestión en una zona específica, en donde los vehículos que no cuenten con esta tecnología pueden ser identificadas las placas por medio de dos cámaras instaladas en el punto y así mismo se les notifica la respectiva multa por falta de implementación de los dispositivos (Ver Figura 4)

Figura 4. Peaje de Singapur



Fuente: Tarifas de congestión de Singapur (22 de agosto de 2020). En Wikipedia.
https://es.wikipedia.org/wiki/Tarifas_de_congesti%C3%B3n_de_Singapur

La ciudad de Londres a partir del año 2003 cuenta con un peaje urbano en su zona centro (Ver Figura 5 y Figura 6) El diseño del sector en donde se establece el área de cobro por congestión se encuentra delimitada y controlada por una superficie de 21 km² y conformada por un sistema de cámaras (ALPR). El horario de aplicación del cobro es de lunes a viernes desde las 7am-6:00pm por ingresar a la zona de cobro. Tienen excepciones al pago las personas discapacitadas, motos, buses, vehículos de emergencia y personas de bajos ingresos. Para llegar a la implementación del cobro por congestión se realizaron actividades que permitieron incentivar el desplazamiento en las zonas por parte de la comunidad, llevando a cabo un incremento al servicio público, reduciendo la tarifa de los viajes en el transporte público y mejorando la infraestructura vial en lo que tiene que ver con la conectividad de buses y trenes. Uno de los objetivos fundamentales del proyecto fue reducir el tráfico en el centro de la ciudad disminuyendo las demoras en las vías, incrementar la velocidad de marcha dentro de la zona, se mejoraron a vez las condiciones alrededor de la zona y las operaciones del transporte público (Tyler, et al, 2013).

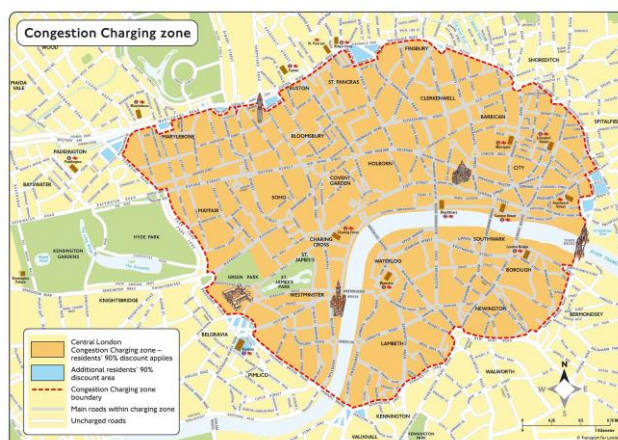
El sistema tecnológico utilizado consta de cámaras de reconocimiento automático de las placas vehiculares, ubicadas en las entradas de la zona donde inicia el peaje, dicho sistema capta la información a una velocidad de una placa por segundo en vehículos que alcanzan a una velocidad los 160 Km/h, garantizando los mínimos niveles de evasión. Aquellos vehículos que no realizan el pago son remitidos sus datos a la autoridad competente quien hará efectivo los respectivos comparendos (Garcés Granda, 2009).

Figura 5. Peaje de Londres



Fuente: Tarifa de Congestión en Londres: Conducir por el Centro de Londres (14 de mayo de 2020). En Wikipedia.
<https://trucoslondres.com/vivir/transporte/tarifa-congestion-londres/>

*A continuación, se observa el acordonamiento del peaje urbano de Londres:Figura 6.
Delimitación del peaje de Londres*



Fuente: Las tecnologías de telepeaje urbano (14 de mayo de 2020). En Wikipedia.
<https://ecomovilidad.net/madrid/las-tecnologias-telepeaje-urbano/>

Por otra parte en 2006, Escocia, Edimburgo, se desarrolló la iniciativa de implementar cobros por congestión, esquema que consistió en presentar variables en relación al peaje urbano de Londres en referencia a la política integral y esquema de tarificación, el sistema fue determinado por un doble cordón concéntrico (Ver Figura 7) contiguo al centro financiero de la ciudad, que funcionaría en el horario de las 7:00 am a 7:00 pm, dicha iniciativa no fue materializada teniendo en cuenta factores de orden social y político (Tyler, et al, 2013).

Figura 7. Delimitación del área para zona de cobro en Edimburgo



Fuente: Tyler, N., Bohórquez Acevedo, J., Barejo Suescún, J. P., & Velásquez, J. M. (2013). *Cobros de congestión en Ciudades Colombia*. UCL, Embajada Británica Bogotá, Universidad de los Andes, 24.
https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Cobros-de-congesti%C3%B3n-en-ciudades-Colombianas_UCLULA_Abril2013.pdf.

El peaje de anti-congestión de Estocolmo involucra un área de 50 km², fue aprobado definitivamente desde agosto del 2007, después de pasar un periodo de prueba de 7 meses, con la finalidad de reducir el alto nivel de flujo que se concentraba en la ciudad durante los periodos laborales. La zona que delimita el centro de la ciudad consta de dieciocho puntos de control, conformados con un sistema de identificación generalizada y automática que permite identificar los usuarios en relación con la lectura de la placa de matrícula a su paso por la zona de cobro. (Muñoz, et al, 2012).

Se puede apreciar en la siguiente figura la infraestructura implementada en el peaje de Estocolmo.

Figura 8. Peaje de anti-congestión de Estocolmo



Fuente: Ciudades donde se paga peaje para entrar en vehículo (20 de mayo de 2020). En Cope.
https://www.cope.es/actualidad/internacional/noticias/conoce-que-ciudades-del-mundo-tienen-peajes-urbanos-20181031_285398

Así mismo, se ilustra de una mejor manera los puntos críticos detectados para las zonas de cobro.

Figura 9. Puntos críticos de zonas de pago



Fuente: Red troncal de autobuses de Estocolmo y la instauración del peaje urbano (20 de mayo de 2020). En Movilidad Sostenible. <http://movilidadesosteniblechile.blogspot.com/2007/08/red-troncal-de-autobuses-de-estocolmo-y.html>

La experiencia en Latinoamérica en relación a los peajes urbanos nos muestra que en Santiago de Chile se vienen desarrollando estudios para determinar la viabilidad de la instalación de este tipo de cobro por congestión vehicular en los sectores urbanos de la ciudad, dicha propuesta fue postulada en el año 2009 por el ministerio de transporte, en donde se determinó que en primera instancia se debería tarifificar la zona denominada como triángulo central, debido a que dicho sector requiere una menor inversión e impacto, así mismo, se recomendó el sistema electrónico tipo “Tag” para el cobro por congestión; por su eficiencia y la gran trayectoria que ha tenido en ciudades como Singapur, Londres (Reino Unido) y Estocolmo (Suecia), el cual ha reducido una tasa aproximada entre el 10% y 20%, los niveles de tráfico (Pauta, 2020).

Por otra parte en la Autopista Central en la ciudad de Santiago de Chile, se ubica un peaje urbano en una longitud de vía de 60, 5 km (aproximadamente), con una inversión inicial de US\$ 455.000.000, considerando a su vez un tráfico medio diario anual de un 40% de los vehículos que transitan por el sector involucrado; se desarrolló la tecnología de peaje automático Free Flow en el que se establece una forma de pago electrónico mediante dispositivo TAG; debido al crecimiento del parque automotriz en la ciudad de Santiago de Chile, se determinan las tasas por congestión y se aplican las respectivas tarifas para disminuir la congestión vehicular, aplicando tarifas de mayor valor en las horas pico (Cortes & Leal, 2019).

Figura 10. Peaje de Santiago de Chile



Fuente: Cobro electrónico de peajes (22 de mayo de 2020). En Wikipedia.
https://es.wikipedia.org/wiki/Cobro_electr%C3%B3nico_de_peajes

Según Cortes y Leal (2019), en la ciudad de México se cuenta también con la siguiente experiencia en peajes urbanos:

Autopista Urbana Sur: Presenta una longitud de vía de 13, 5 km, con una inversión en infraestructura aproximada de 2 mil 478 millones de pesos, el horario de funcionamiento es de 24 horas con un sistema tecnológico usado de pago electrónico mediante dispositivo TAG.

Circuito Exterior Mexiquense: Cuenta con un horario de servicio las 24 horas del día, presentando un tráfico medio Diario anual de 354,415 vehículos, el pago de peaje se realiza en efectivo en casetas de forma manual.

Viaducto Elevado Bicentenario: Se desarrolla un peaje con pago electrónico mediante dispositivo TAG, la finalidad principal es generar una nueva infraestructura y la financiación de una autopista urbana estableciendo una tasa por congestión vehicular.

Supervía Poniente: El objetivo principal es resolver los inconvenientes de conectividad que sufre la zona de Santa Fe, presenta a su vez un pago electrónico mediante dispositivo TAG.

Figura 11. Peaje Autopista Urbana Sur, Ciudad de México



Fuente: En 45 minutos de Toreo a salida a Cuernavaca (27 de mayo de 2020). En Transporte México.
<https://www.transporte.mx/en-45-minutos-de-toreo-a-salida-a-cuernavaca/>

Figura 12. Peaje Circuito Exterior Mexiquense, Ciudad de México



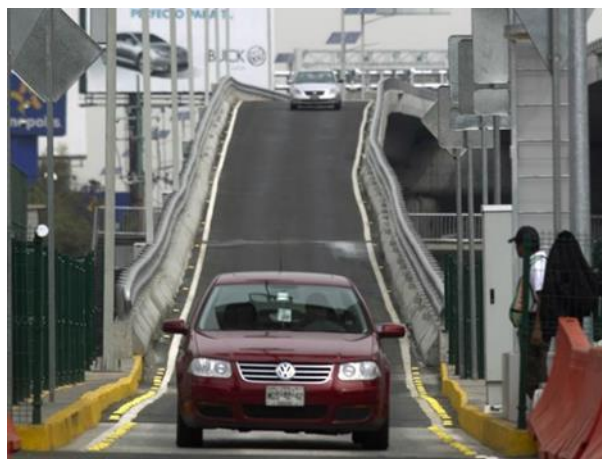
Fuente: Cada día más costosa la construcción del Circuito Exterior Mexiquense (27 de mayo de 2020). En Sol de México. <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/valle-de-mexico/construccion-cem-cada-dia-mas-costosa-circuito-mexiquense-2808130.html>

Figura 13. Peaje Viaducto Elevado Bicentenario, Ciudad de México



Fuente: Aleatica, (2018). *Informe anual 2018*. Smart & Sustainable Infrastructure, 20-21.
<https://inversionistasmx.aleatica.com/wp-content/uploads/2019/05/ALEATICA-Informe-Anual-2018-final-LR-16-may-19.pdf>

Figura 14. Peaje Supervía Poniente, Ciudad de México



Fuente: La Supervía Urbana Poniente sube sus precios (27 de mayo de 2020). En Atraccion360.
<https://www.atraccion360.com/la-supervia-urbana-poniente-suba-sus-precios>

En Hollywood (Florida), en la autopista Florida Turnpike o Ronald Reagan Turnpike el cual presenta una longitud de 778 km, se encuentra disponible el peaje urbano en un horario de servicio de 24 horas del día, con una tecnología de sistema de Toll Electrónico con el sistema Sun Pass, en el cual se registra el ingreso y salida electrónicamente, la forma de pago es electrónica, el cual varía en función del tráfico, longitud recorrida y por número de ejes en el vehículo.

Figura 15. Peaje en Hollywood (Florida)



Fuente: Tampa-Hillsborough se sumó a la disfunción de SunPass (27 de mayo de 2020). En Miami News24. <https://www.miami-news24.com/2019/05/24/tampa-hillsborough-se-sumo-a-la-disfuncion-de-sunpass/>

Los peajes urbanos en Colombia son limitados, sin embargo, se cuenta con una experiencia en la ciudad de Cartagena, ubicado en el corredor de acceso rápido a la variante de Cartagena, iniciando en la entrada a la sociedad portuaria regional de Cartagena, en el sector de Manga, km 0, y finalizando en el corregimiento de Pasacaballos, Km 18. Consta de 4 peajes urbanos y presenta un sistema de cobro electrónico y manual. Los usuarios de transporte público han venido presentando inconformidades con la instalación de este peaje urbano ya que lo consideran como un castigo económico para su actividad.

Figura 16. Peaje urbano en Cartagena de Indias



Fuente: Peaje urbano en Cartagena (27 de mayo de 2020). En Mundonoticias. <https://mundonoticias.com.co/alcade-william-dau-reitera-compromiso-de-acabar-con-peajes-urbanos-en-cartagena/>

Por otro parte en Medellín Antioquia, se encuentran realizando investigaciones referentes al análisis de la aplicabilidad internacional del sistema vial de tarifa electrónica (ERP), de Singapur y su impacto a la movilidad, con la finalidad de reducir las emisiones de gases que afectan la

calidad del aire y disminuir la congestión vehicular en el centro de la ciudad, para mejorar la productividad a nivel local y maximizar los tiempos de transitabilidad de los vehículos (Arcila & Quintero, 2017).

Desde el punto de vista de los objetivos de la implementación de peajes urbanos en las diferentes ciudades analizadas se describe en la siguiente tabla las ventajas y desventajas en cuestión de disminución de demanda de tráfico aproximada, caracterización física de cada medida, los procesos de ejecución de cada medida y tiempos.

Tabla 1. Características de la implementación de peajes a nivel internacional.

Experiencias Internacionales	Ventajas	Desventajas
Singapur	-Reducción de los niveles de congestión. -Aumento del uso del transporte público. -Mejora en la calidad del aire. -Forma de pago: Tarjeta física recargable y tarjeta virtual. -Identificación de evasores sujeto a multas. -Sistema de peajes multi-carril. -Punto de control monitoreado. -Acordonamiento del área de influencia con el sistema de cobro para evitar evasores. -Aceptación por parte de la comunidad basados en una estrategia de acercamiento a los residente del sector por medio de elementos de comunicación e interacción directa con los usuarios previo a la implementación de la medida establecida. -No se aplica tarifa los días domingos y festivos. -El 20% del valor total recaudado se utiliza para invertir en los costos de operación. -Mantener la velocidad entre 45- 65km/h en vías principales y 20-30 km/h en vías secundarias. -Reducción del flujo de vehículos particulares del 30%.	- Los conductores de vehículos particulares que no cuentan con los recursos económicos para el pago del peaje urbano cambian las rutas de viaje. -Disminución en la capacidad del transporte público por la cantidad de pasajeros nuevos generados por el cobro. Esto repercute en aumento en los tiempos de ingreso, espera y egreso a los sistemas de transporte público haciéndolos menos confiable. -El incremento de la velocidad de los vehículos particulares genera aumento en la accidentalidad.
Londres	-Inversión por parte del estado en estudios y diseños. -Apoyo del sector político para la implementación del peaje urbano. -Se elaboró una propuesta de cobro con los requerimientos técnicos acorde a la implementación del peaje. -El proceso de implementación tuvo una duración de 18 meses donde se involucraron los diferentes sectores. -El Sistema determinado generó	-La comunidad del sector se encuentra en desacuerdo aun cuando la medida ya está implementada.

Experiencias Internacionales	Ventajas	Desventajas
	fortalecimiento sobre el transporte público en el cual el recaudo fue invertido en infraestructura vial. -Reducción del tráfico entrante en un 45%. -Incremento de la velocidad en un 40%. -Aumento en la velocidad fue de 26,0 Km/h a 33,3 km/h, en el corredor vial involucrado.	
Edimburgo	-No aplica	-Un 74% de la población rechazó la medida. -La comunidad del sector no estaba de acuerdo con el pago, lo cual fue evidenciado en un referéndum. -La clase política apoyó el rechazo de la propuesta para implementar un peaje urbano.
Estocolmo	-Se logró una disminución del volumen vehicular del 28%. -Mejora de la movilidad y el ambiente de la ciudad. -Se implementó el periodo de prueba para mayor concientización de la comunidad. -Aumento de usuarios de transporte público en un 8%.	-Hay una pérdida del 2% de los ingresos en el cobro del peaje, debido a la inflación.

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia estudio de la Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. Documento de línea base de Diagnóstico Producto 3. Documento de línea base de diagnóstico pp. 568-588.* Secretaría de Movilidad de Bogotá.

7. METODOLOGÍA

Para llegar a proponer una tipología adecuada de peaje urbano en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá, fue importante determinar la secuencia con que se desarrolló el estudio del caso; por cuanto se realizó en primera instancia una revisión al estado del arte de los peajes urbanos más representativos implementados a nivel nacional e internacional, en el que se tomaron como referencia para analizar las experiencias en cuestión de implementación, así mismo, se realizó una revisión con estudios secundarios suministrados por Secretaría de Movilidad de Bogotá, en cuestión de estudios adelantados en implementación de cobros por congestión en la ciudad; en segunda instancia se aplicaron técnicas de microsimulación para evaluar las diferentes alternativas de peajes urbanos partiendo de la información secundaria solicitada a Secretaría de Movilidad de Bogotá y los datos más recientes publicados en su portal web de la zona de estudio, en este caso del centro ampliado de la Ciudad de Bogotá, se analizaron la cantidad de vehículos que ingresaron al centro ampliado de la ciudad, estructurando a su vez, una matriz multicriterio

que permitió evaluar las diferentes tipologías que se puedan aplicar en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

A continuación, se describe de manera secuencial las actividades desarrolladas:

7.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

TIPOS DE PEAJES:

Un método para vigilar la congestión vehicular, en relación a la demanda en una economía de mercado tiene como objetivo una remuneración económica, el cual consiste en realizar un aporte por tener acceso a las vías urbanas, lo que ayuda a mejorar la eficiencia del sistema de transporte en las ciudades.

Por otra parte, al momento de implementar cobros por congestión se debe estudiar en primera instancia los diferentes tipos de peaje vial, dado que al no tener una selección adecuada de los mismos se podrían generar problemáticas de congestión dentro del sistema, ocasionando inconformismo a los usuarios que transiten por el corredor vial involucrado.

A continuación, se describen los diferentes tipos de peaje vial.

Peaje abierto: Se establece a una cierta distancia en la cual se encuentra una caseta de peaje, donde se paga una cantidad estipulada por el operador de la vía (Cortés & Leal 2019).

Peaje cerrado: Una vez el usuario inicia su recorrido en la vía, se registra a la entrada y paga a la salida, teniendo en cuenta la longitud transitada, con un sistema de peaje manual el usuario recoge una tarjeta a la entrada y si se usa el telepeaje no se recoge la tarjeta dado que el sistema registra el acceso de manera automática (Cortés & Leal 2019).

Peaje anual: Se caracteriza por la realización de un pago anual, determinado por una cuota fija estipulada por el estado, acreditado de acuerdo a un stiker adherido al parabrisas del carro, lo que origina una libre movilidad en las vías involucradas. Es importante también resaltar que aquellas personas que quieren utilizarlo esporádicamente o se encuentren de turismo les aplican la misma tarifa. Peaje anual (22 de febrero de 2021). <https://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>.

Peaje urbano de congestión: La congestión vehicular se puede definir como la relación que existe entre la capacidad de una infraestructura de un sistema de transporte y el volumen de

vehículos que desean transitar por esta; así mismo, la congestión vehicular se intensifica una vez la cantidad de vehículos en la vía aumenta y esto se ve reflejado en los usuarios de las vías mediante mayores incrementos en sus desplazamientos (Cortés & Leal 2019).

En concordancia con lo anteriormente descrito se estipulan cobros bajo la política de tarifas de congestión, con la finalidad de disminuir la cantidad de vehículos que acceden a unas determinadas zonas de las ciudades para reducir la congestión vehicular, también tiene como objetivo la contribución con el medio ambiente disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Cortés & Leal 2019).

Peajes Free - Flow: Es también denominado como peaje multi carril o de flujo libre, el cual permite cobrar a los usuarios de una vía sin tener que detenerse, ni disminuir su velocidad, sin elementos que bloqueen la vía. Está compuesto por una estructura que consta de un pórtico instalado al lado o encima de la carretera, conformado por un equipo con detección de presencia de vehículos, lo que origina la identificación del vehículo y contiene cámara para comprobar la validez del pago encontrándose una etiqueta instalada en cada vehículo. Usualmente este tipo de peaje es usado en donde no hay espacio para una estación de peaje, como por ejemplo en la zona urbana. Al momento de presentarse fallas en los controles para realizar el respectivo cobro, este es determinado por el software OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), el cual permite realizar el reconocimiento de las imágenes de los vehículos que transitan por el sector (Delgado Tenorio, 2008).

Sistemas de cobro:

El pago de peaje se establece como derecho para lograr circular por una vía, este se asocia al concepto de tarifa que se cobra a un medio de transporte terrestre, como derecho de tránsito para utilizar la respectiva infraestructura vial. Por otra parte, el peaje tiene como función recuperar parte o la totalidad de los costos generados en las etapas de construcción, operación y mantenimiento del corredor vial.

Algunos de Los sistemas de cobro más utilizados son los siguientes:

El Sistema de cobro Electrónico de Peajes (ETC – Electronic Toll Collection), permite generar el pago del valor estipulado de un peaje sin necesidad de realizar una transacción física, lo que origina que mediante tecnologías de comunicación remota se lleve a cabo el pago de forma automática y así poder evitar que el vehículo no se detenga en su totalidad, logrando una velocidad constante, generando en los usuarios mayor conformidad por cuanto que el flujo es constante sin ocasionar congestiones vehiculares (Cortés & Leal, 2019).

El sistema Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS), consiste en una red de satélites interconectados los cuales permiten transmitir rangos de señales para la ubicación y localización en cualquier parte del planeta, a su vez permite establecer las coordenadas geográficas, es utilizado para el cobro de peajes, el cual tiene relación en el tiempo, ubicación, y la longitud recorrida del vehículo por la infraestructura vial. De acuerdo a lo anteriormente descrito por lo general este sistema es implementado para generar el cobro de peajes de vehículos pesado (Saldaña, et al, 2012).

Peaje sombra:

Se caracteriza por la modalidad de financiación en donde los constructores de vías públicas son los que financian la construcción y la operación de la infraestructura vial. En contraprestación el estado les otorga la conservación y explotación de la infraestructura durante un período determinado, durante el cual les cancela un valor establecido por cada usuario de la infraestructura (Cortés & Leal 2019).

Peaje Manual:

Este es el sistema de cobro de peaje convencional cuya operación es realizada por un operador en cabina que ejecuta el cobro de la tarifa a cada vehículo, que transita por el sector. La modalidad de pago se realiza en efectivo, tarjetas bancarias (Tecsidel 2020).

7.2 CONTEXTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE ESTUDIOS REALIZADOS PARA COBROS POR CONGESTIÓN A NIVEL NACIONAL:

En Marzo del 2018 en Colombia, el Ministerio de Transporte planteó una propuesta basada en la necesidad de que todas las concesionarias del país brinden a los usuarios el servicio de peajes electrónicos, dando un periodo máximo de un año para puesta en funcionamiento en todas las zonas del país. Esto fue dispuesto por la entidad en la resolución 546 de 2018, en el marco de un proyecto nacional de interoperabilidad, que tiene alta relevancia en lograr que los usuarios utilicen un único dispositivo en el vehículo o TAG y pueda pasar todos los peajes del país asociado a una sola factura de pago (Ministerio de Transporte de Colombia, 2018).

Sistemas tecnológicos utilizados en Colombia:

Las experiencias tecnológicas en el país están relacionadas con los sistemas de peajes electrónicos. Este tiene incluido dos tecnologías diferentes el cual consisten en la identificación y el recaudo electrónico vehicular, en este sentido se ha implementado en algunas vías concesionadas del país donde se han establecido peajes electrónicos el cual utilizan dispositivos

que son instalados en los vehículos para identificación mediante radiofrecuencia (RFID - Radio Frequency Identification); Son utilizados los dispositivos con batería denominados tags semi-activos, y también son utilizados los tags pasivos los cuales se caracterizan por ser utilizados sin fuente de alimentación interna. Con el objeto de lograr la interoperabilidad en donde el usuario con un único dispositivo a bordo y un contrato con su respectiva cuenta cancele cualquier tasa relacionada al tránsito y transporte, el país ha adelantado estudios acerca de los estándares tecnológicos que deberán cumplir con los sistemas de identificación y cobro electrónico vehicular, para brindar mayor conformidad a los usuarios.

Por otra parte, también es utilizado en el país los sistemas relacionados con fotomultas, las cuales consisten en la identificación de vehículos con cámaras de vigilancia, dispositivos electrónicos de apoyo policial, software de reconocimiento óptico de caracteres, en donde se destacan por la detección manual o automática de placas para la identificación vehicular. (Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris, 2013).

Teniendo en cuenta los aspectos tecnológicos y operativos, un sistema de cobro por congestión comprende los siguientes subsistemas: Sistema de Registro, Sistema de pago, Sistema de detección, Sistema de procesamiento, Sistema de facturación, Sistema de fiscalización, y el Sistema de información al usuario. En la Tabla 2, se puede apreciar el concepto de dichos subsistemas relacionándolos con la infraestructura tecnológica con la que cuenta la ciudad de Bogotá para desarrollar este tipo de proyectos.

Tabla 2. Entidades existentes para el control de cobro por congestión

Sistema de Información para cobros por congestión	Descripción	Entidades existentes para el control al momento de la implementación de un sistema de cobros por congestión en la ciudad de Bogotá
Sistema de Registro	Permite almacenar y gestionar la información de los vehículos, propietarios y demás conductores, así mismo es requerido para adelantar las actividades de detección, identificación, facturación y fiscalización.	Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), Base de datos de Tránsito Y Transporte Distritales (Registro Distrital de Automotores (RDA), Registro Distrital de Conductores (RDC), Registro de Tarjeta de Operación (RTO) y Departamentales (SIETT Cundinamarca, Sistema de Información Contravencional (SICON), Otras Bases de Datos (Secretaría Distrital de Hacienda, DIAN, Catastro Distrital, Registraduría Nacional del Estado

Sistema de Información para cobros por congestión	Descripción	Entidades existentes para el control al momento de la implementación de un sistema de cobros por congestión en la ciudad de Bogotá
		Civil y Empresas de Servicios Públicos).
Sistema de Pago	Consiste en que el usuario recargue su cuenta de forma (prepago), o cancele la respectiva factura por las entradas a las zonas de cobro por congestión que haya realizado previamente (pospago).	En la ciudad actualmente se cuenta con sistemas de pagos a través de medios Bancarios los cuales se subdividen en dos categorías (Tarjetas débito y crédito) y pago en efectivo.
Sistema de Detección	Su objetivo es detectar si un vehículo ingresa o abandona una zona de cobro por congestión, es dependiente de la tecnología que se utilice ya sea con cámaras, dispositivos a bordo y antenas, o GPS.	Dispositivos Electrónicos para Identificación Vehicular: Peajes Electrónicos, Censo vehicular de Transporte Público Individual. Cámaras Existentes. Infraestructura GPS/GSM Sistema Inteligente de Transporte (SIT). Infraestructura para Instalación de Cámaras o Antenas: Postes. Infraestructura Energética para el Sistema: Red Eléctrica. Infraestructura de Comunicación: Existente (Inalámbrica y Cable), Nueva (Ducto)

Sistema de Información para cobros por congestión	Descripción	Entidades existentes para el control al momento de la implementación de un sistema de cobros por congestión en la ciudad de Bogotá
Sistema de Procesamiento	Es parte fundamental del sistema de información ya que se comunica con los demás subsistemas recibiendo información, procesándola y generándola; es decir, genera el sistema de detección el cual permite gestionar los cobros de tarifas y enviando información al sistema de facturación; adicionalmente es el encargado de monitorear el funcionamiento de los dispositivos de campo.	No se han desarrollado Sistemas o Infraestructura tecnológica en el país, por cuanto para este tipo de proyectos de cobro por congestión se deben desarrollar a medida que se avance en el proyecto.
Sistema de Facturación	Se genera y envía un reporte de su actividad al conductor registrado en el sistema de información para cobros por congestión.	Sistema Integrado de Información de Movilidad Urbano Regional (SIMUR) Sí Capital. Servicio Público. Medios Electrónicos: Correo Electrónico, Portal Web de la Secretaría de Movilidad. Servicio Postal
Sistema de Fiscalización	Es el encargado de la detección de las infracciones al régimen de cobros por congestión y permite gestionar el cobro de las multas correspondientes.	Cámaras Existentes. Infraestructura de Comunicaciones Sistema Integrado de Información de Movilidad Urbana Regional (SIMUR). Sistemas para la gestión de infracciones de tránsito: Sistema de Información Contravencional (SICON). Sistema Integrado de Información Sobre Multas y Sanciones por Infracciones de Tránsito (Simit).
Sistema de Información al Usuario	Su propósito es entregar al usuario información de interés general acerca del sistema, a su vez se puede proporcionar información como instrucciones y condiciones de uso, reglamentación, tarifas, cierre o trabajos de mantenimiento.	Sistema Integrado de Información de Movilidad Urbano Regional (SIMUR). Otras Páginas Web. Puntos de Atención. Centros Locales de Movilidad. Línea de Atención al Ciudadano 195

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia estudio de la Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. Documento de línea base de Diagnóstico Producto 3. Documento de línea base de diagnóstico pp. 322-376.* Secretaría de Movilidad de Bogotá.

De acuerdo Unión Temporal SDG-PHR-AKIRIS (2013), en relación al **sistema de Registro** el cual establece información sobre vehículos y conductores, el más relevante en el país es el RUNT. Es importante articular las acciones necesarias con el Ministerio de Transporte para garantizar el acceso en línea y en tiempo real al RUNT; con el fin de obtener la información necesaria para el sistema de registro de un sistema de información para cobros por congestión. Igualmente es necesario establecer acercamientos con algunas entidades como la Secretaría Distrital de Hacienda, DIAN, y/o la Registraduría Nacional del Estado Civil, para obtener una información actualizada del contacto requerido.

Por otro lado, referente al **sistema de pago**, resalta que existen empresas prestadoras de servicio de recaudo el cual permite prestar un servicio de fácil acceso para los usuarios. En la actualidad en la ciudad de Bogotá, se cuenta con convenios con algunos prestadores de servicio de recaudo, pero se limita el recaudo al incumplimiento del pago en los tiempos determinados.

Para las ciudades de Bogotá y Medellín los **sistemas de detección** más relevantes son los de fotomultas, junto con los sistemas de peajes electrónicos que han sido implementados en el país; No obstante, en otras ciudades hay sistemas de censo de vehículos de transporte público individual por dispositivos de identificación electrónica, sin embargo, su tecnología es de software propietario, limitada a sus propiedades de uso, modificación, no libre, privado y su licencia tiene costo.

En Bogotá los **sistemas de facturación** están concentrados en la parte contravencional, por ejemplo como el sistema de fotomultas, lo que nos indica que los medios de envío y tiempo de notificación y pago, están regulados de acuerdo a ley. Por otra parte, de no tener como referencia los cobros por algún tipo de infracción, se tendría que hacer uso de otros medios como lo son el correo electrónico, portales de internet o con facturas de servicios públicos.

Al no tener identificado una infraestructura tecnológica existente en el país referente a los **sistemas de procesamiento**, por tal razón se debe desarrollar al momento de realizar la ejecución de un proyecto de cobro por congestión.

En Colombia son utilizados los sistemas de información para el manejo de contravenciones como el SICON y el Simit. En donde una vez establecida la omisión de pago de un cobro por

congestión hace referencia a una infracción de tránsito, el cual podrían servir como base para un **sistema de fiscalización**.

Es importante integrar la información de cobros por congestión con plataformas como la línea de atención al ciudadano 195 y el Sistema Integrado de información sobre Movilidad Urbana y Regional (SIMUR); en donde se resalta el esfuerzo del Distrito y de la Secretaría de Movilidad de Bogotá DC por unificar e integrar la información relacionada con la movilidad, para un **sistema de información al usuario** que permita una buena interacción con los mismos.

Según estudio realizado por la Unión Temporal SDG-PHR-AKIRIS (2013), para la Secretaria Distrital De Movilidad en noviembre de 2013, donde se presentaron alternativas del Proyecto Cobros por Congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. y se exponen las características más relevantes del proceso de selección de las alternativas.

En la siguiente tabla, se relacionan un grupo inicial de 13 alternativas basadas en los diferentes procesos, los cuales consiste en implementar un cobro por uso del vehículo en toda la ciudad, un cordón perimetral en la ciudad con el objetivo de cobrar una tarifa por usar la malla vial de Bogotá, crear una especie de peajes urbanos dentro de la ciudad, una tarifa plana o diferencial (por distancia) al usar los principales corredores de la ciudad.

Tabla 3. Lista inicial de alternativas

NÚMERO DE LA ALTERNATIVA	TIPO DE ESQUEMA	LÍMITES GEOGRÁFICOS	ESQUEMA DE COBRO	PRINCIPALES ATRACTORES DE VIAJE EN LA ZONA
1	Restricción por uso	Toda la ciudad	Todo usuario del carro paga	
2	Cordón / Área y Pantalla	Norte: Calle 127	Supuestos aún por confirmar en modelación.	Unicentro Teleport Calle 100
		Sur: Calle 45	Si se circula por la /, Caracas, 127 y 45 no se cobra.	Calle 72 Unilago Andino
		Occidente: Avenida Caracas/ Autopista Norte	Se cobra al cruzar los límites y las pantallas de la zona delimitada por los límites geográficos, únicamente en el sentido de ingreso.	
		Oriente: Carrera 7	Por definir si hay un	

NÚMERO DE LA ALTERNATIVA	TIPO DE ESQUEMA	LÍMITES GEOGRÁFICOS	ESQUEMA DE COBRO	PRINCIPALES ATRACTORES DE VIAJE EN LA ZONA
			número máximo de cobros al día.	
		Pantallas interna e-o:	Tarifas diferenciales a lo largo del día	
		Calle 100		
		Calle 76		
		Pantalla interna n-s:		
		De sur a norte: Carrera 13, Carrera 11 y a partir de la Calle 100 Carrera 9		
		Carrera 15		
3	Cordón / Área	Norte: Calle 116	Funciona igual que el anterior solo que no tiene pantallas internas.	Teleport Calle 100
		Sur: Calle 72		Calle 72 Unilago Andino
		Occidente: Avenida Caracas/ Autopista Norte		
		Oriente: Carrera 7		
4	Cordón / Área y Pantalla	Norte: Calle 100	Funciona igual que la primera	Calle 100
		Sur: Calle 45		Calle 72 Unilago
		Occidente: Avenida Caracas/ Autopista Norte		Andino
		Oriente: Carrera 7		
		Pantallas interna e-o: Calle 76		
		Pantalla interna n-s:		
		Carrera 11 y a partir de la Calle 100 Carrera 9		
		Carrera 15		
5	Cordón / Área y Pantalla	Norte: Calle 127	Funciona igual que la primera	Calle 100
		Sur: Calle 26		Calle 72 Unilago Andino
		Occidente: Avenida Caracas/ Autopista Norte		Universidad Javeriana
		Oriente: Carrera 7		
		Pantallas interna e-o: Calle 100		
		Calle 76		
		Calle 45		
		Pantalla interna n-s:		
		De sur a norte: Carrera 13, Carrera 11 y a partir de la Calle 100 Carrera 9		
		Carrera 15		

NÚMERO DE LA ALTERNATIVA	TIPO DE ESQUEMA	LÍMITES GEOGRÁFICOS	ESQUEMA DE COBRO	PRINCIPALES ATRACTORES DE VIAJE EN LA ZONA
6	Cordón / Área y Pantalla	Norte: Calle 100	Funciona igual que la primera	Calle 100
		Sur: Calle 26		Calle 72 Unilago Andino
		Occidente: Avenida Caracas/ Autopista Norte		Centro Internacional
		Oriente: Carrera 7		Universidad Javeriana
		Pantallas interna e-o: Calle 76		
		Calle 45		
		Pantalla interna n-s:		
		De sur a norte: Carrera 13, Carrera 11 y a partir de la Calle 100 Carrera 9		
		Carrera 15		
7	Cordón / Área	Norte: Calle 63, Rojas, Calle 26	Todo vehículo que ingrese a la zona paga. Tarifas diferenciales a lo largo del día. No se cobra la circulación sobre los límites.	Calle 26
		Sur: desde el occidente por la Calle 13 luego Avenida Américas y Calle 26.		Centro Internacional
		Occidente: Avenida Boyacá		Corferias
		Oriente: Carrera 7		Universidad Nacional
8	Cordón	Norte: Calle 100	Todo vehículo que ingrese a la zona paga. Tarifas diferenciales a lo largo del día. No se cobra la circulación sobre los límites.	Calle 100
		Sur: Desde el occidente, Calle 13, Avenida Américas y Calle 26		Calle 72 Unilago Andino
		Occidente: Avenida Carrera 68		Centro Internacional
		Oriente: Carrera 7		Universidad Javeriana
				CAN
				Corferias Puente Aranda
9	Doble Cordón / Área	CORDÓN 1	Todo vehículo que ingrese a la zona paga. Tarifas diferenciales a lo largo del día. No se cobra la circulación sobre los límites. Cada cordón puede cobrarse a tarifa diferente.	Calle 100
		Norte: Calle 127		Calle 72 Unilago Andino
		Sur: Calle 26		Centro Internacional
		Occidente: Avenida Carrera 68 y Avenida Suba a partir de la Calle 100		Universidad Javeriana
		Oriente: Avenida Circunvalar y Avenida Carrera 7 a partir de la Calle 92		CAN
		CORDÓN 2		Corferias
		Norte: Calle 92		

NÚMERO DE LA ALTERNATIVA	TIPO DE ESQUEMA	LÍMITES GEOGRÁFICOS	ESQUEMA DE COBRO	PRINCIPALES ATRACTORES DE VIAJE EN LA ZONA
		Sur: Calle 72		
		Occidente: Avenida Caracas		
		Oriente: Avenida Circunvalar		
10	Pantalla (s)	Norte: Calle 116 (desde la carrera 7 hasta la Boyacá)	Todo vehículo que cruza la pantalla paga, tarifas diferenciales por hora	
		Sur: Calle 72 entre Circunvalar y Avenida Boyacá		
11	Pantalla (s)	Norte: Calle 80, Av. K68 y Calle 100	Todo vehículo que cruza la pantalla paga, tarifas diferenciales por hora	
		Sur: Av. La Esperanza, Américas y Calle 34		
12	Cordón	Perímetro urbano de la ciudad	Todo vehículo que el cordón paga, tarifas diferenciales por hora Descuentos para transporte de carga y transporte intermunicipal	
13	Corredores / peajes urbanos	Avenida NQS Autopista Norte Carrera 7	Tarifas diferenciales por hora pico, es equivalente al sistema de autopistas urbanas. Cobra proporcional al uso por kilómetro recorrido.	
		Calle 140		
		Calle 26 Avenida Boyacá		
		Avenida 1° de Mayo		
		Avenida K68		

Fuente: Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. Documento de línea base de Diagnóstico Producto 4. Evaluación de alternativas pp. 132-135.* Secretaría de Movilidad de Bogotá.

De las alternativas presentadas anteriormente se realizó un proceso de selección, donde se partió con la revisión de la viabilidad en temas legales, aspectos tecnológicos e indicadores basados en encuestas de movilidad, identificando los viajes que se originan y atraen en la zona tarifada para cada una, y los viajes intrazonales. Por consiguiente, se generó una lista corta de alternativas que se estudiaron en detalle y se identificaron como alternativas, las cuales se enumeran del 1 al 4, como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 4. Lista corta de opciones

OPCIÓN	DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA DE LA LISTA LARGA	DESCRIPCIÓN
1	Zona norte pequeña	Alternativa 3	zona al norte de la ciudad que puede funcionar como área o cordón, sus límites son: la calle 116 al norte, la calle 72 al sur, la carrera 7 al oriente y la autopista norte al occidente, en este momento del análisis se asume que para usar los límites el usuario tiene que pagar
2	Zona norte alargada y con pantallas internas	Alternativa 6	Los límites de la opción son: la calle 100 al norte, la calle 26 al sur, la carrera 7 al oriente y la autopista norte al occidente, al igual que la opción anterior se asume que para usar los límites el usuario tiene que pagar, de ser elegida está opción el pago de los límites y el esquema de cobro de las Pantallas internas serán estudiadas.
3	Zona occidente	Alternativa 8	La opción funciona como un cordón y corresponde a una superficie geográfica mayor que la de las dos opciones anteriores, sus límites son: la calle 100 al norte, las calles 13, Américas y 26 al sur, la carrera 7 al oriente y la carrera 68 al occidente, de nuevo se asume que para usar los límites el usuario tiene que pagar
4	Pantallas	Alternativa 10	La opción contiene dos pantallas de oriente a occidente que dividen la ciudad, los usuarios tienen que pagar al cruzarlas en cualquier dirección, la pantalla norte se ubica en la calle 116 y la pantalla sur en la calle 72, las dos pantallas tienen límite oriente en la carrera 7 y límite occidente en la carrera Boyacá. En este momento del análisis recorrer la pantalla no tienen ningún cobro.

Fuente: Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. Documento de línea base de Diagnóstico Producto 4. Evaluación de alternativas pp. 132-135.* Secretaría de Movilidad de Bogotá.

Para la evaluación de las opciones presentadas anteriormente, se definieron los costos del sistema a partir del análisis de las alternativas tecnológicas con mayor detalle. En ese orden, toda alternativa que obligue a pagar a todos los usuarios de las vías de uso restringido resulta

jurídicamente viable; porque en el párrafo 1º del artículo 50 de la Ley 1450 de 2011, se determinó como sujeto pasivo de la tasa por uso de una infraestructura vial a todo aquel “conductor y/o propietario”.

La obligatoriedad al pago de las cuatro opciones escogidas en el estudio cumple, según los siguientes criterios:

- Los cordones establecen un límite de uso de la vía a través de tecnología que apunta a leer el mayor número de placas posible, de forma que todo el que atraviese dicho límite pague por el uso de las vías.
- El uso de pantallas establece una “frontera lineal general”, que implica que se detecta a todo aquel que cruza dicha frontera estará obligado a pagar por el uso de la infraestructura vial que dicha frontera delimita.
- El establecimiento de un área, al igual que el cordón, establece un límite de uso de un conjunto de vías a través de tecnología que también apunta a leer el mayor número de placas posible, de forma que todo el que haga uso de dicha parte de la red vial pague por hacerlo.

Por otra parte, la Secretaria de Movilidad de Bogotá, avanzó en los estudios de cobro por congestión en el año 2018 realizado por la Unión Temporal SDG –GSD – PHR (2018), referente a los cobros por distancia recorrida, en el cual se definieron los siguientes puntos de intersección, de los cuales se destaca que la medida a implementar es un sistema aporcionado. En la siguiente tabla, se presentan los tramos estudiados donde se evidencia las distancias aferentes de cada vía:

Tabla 5. Ubicación referencial y distancia de cobro asociado por pórtico

PÓRTICO	VÍA	TRAMO	DISTANCIA AFERENTE (KM)
1	Avenida de los Cerros	Calle 85 - Calle 83	0,6
2	Avenida de los Cerros	Calle 74 - Calle 72A	0,6
3	Avenida de los Cerros	Calle 26	2,79
4	Avenida de los Cerros	Transversal 4	3,08
5	Avenida de los Cerros	Calle 85 -Transversal 5	1,54
6	Avenida de los Cerros	Calle 72A - Calle 74	2,85
7	Avenida de los Cerros	Calle 26 - Calle 26B	2,2
8	Avenida de los Cerros	Calle 45 - Calle 45B	2,2
9	Calle 53	Carrera 28A - Carrera 30	2,88
10	Calle 53	Avenida 66A - Avenida Calle 68	2,88
11	Calle 53	Carrera 30 - Carrera 28A	2,58
12	Calle 53	Carrera 67B - Carrera 68	2,58
13	Autopista Norte	Calle 100 - Calle 97	2,18
14	Autopista Norte	Calle 100 - Calle 97	2,18

PÓRTICO	VÍA	TRAMO	DISTANCIA AFERENTE (KM)
15	Avenida Carrera 19	Calle 100 - Calle 97	2,18
16	Avenida Carrera 19	Calle 97 - Calle 100	2,18
17	Carrera 11	Calle 77 - Calle 76	1,48
18	Carrera 11	Calle 92 - Calle 90	0,97
19	Carrera 11	Calle 100 - Calle 97	0,97
20	Carrera 15	Calle 76 - Calle 77	2,62
21	Carrera 15	Calle 98 - Calle 100	2,62
22	Carrera 50	Calle 44 - Avenida Calle 26	2,18
23	Carrera 50	Calle 26 - Calle 44	2,18
24	Carrera 7	Calle 77 - Calle 78	1,73
25	Carrera 7	Calle 60 - Calle 60A	0,53
26	Carrera 7	Calle 92 - Calle 93	1,78
27	Carrera 7	Calle 100	0,93
28	Carrera 7	Calle 44 - Calle 45	2,24
29	Carrera 7	Calle 53 - Calle 54	1,2
30	Carrera 7	Calle 46 - Calle 45	0,75
31	Carrera 7	Calle 77 - Calle 76	1,17
32	Carrera 7	Calle 60 - Calle 59	2,02
33	Carrera 7	Calle 92 - Calle 90	1,42
34	Carrera 7	Calle 100	1,42
35	Carrera 7	Calle 53 - Calle 52	0,56
36	Carrera 14	Calle 26 - Diagonal 28	0,77
37	Carrera 14	Calle 34 - Calle 36	0,77
38	Carrera 14	Calle 45 - Calle 46	1,09
39	Carrera 14	Calle 53 - Calle 54	1,2
40	Carrera 14	Calle 63 - Calle 64	0,82
41	Carrera 14	Calle 35 - Calle 34	0,82
42	Carrera 14	Calle 45 - Calle 44	0,91
43	Carrera 14	Calle 53 - Calle 52	1,01
44	Carrera 14	Calle 63 - Calle 62	1,93
45	Carrera 14	Calle 80 - Calle 76	2,33
46	Carrera 14	Diagonal 28 - Avenida Calle 26	0,9
47	Avenida Suba	Calle 97A - Calle 98A	1,85
48	Avenida Suba	Calle 100 - Calle 98A	1,85
49	Calle 72	Carrera 67 - Carrera 68	1,77
50	Calle 72	Calle 29C - Carrera 30	1,77
51	Calle 72	Carrera 68 - Carrera 67	1,85
52	Calle 72	Carrera 30 - Carrera 29C	1,85
53	Calle 63	Carrera 67 - Carrera 60	2,31
54	Calle 63	Carrera 28A - Carrera 30	2,31

PÓRTICO	VÍA	TRAMO	DISTANCIA AFERENTE (KM)
55	Calle 63	Carrera 68 - Carrera 60	1,53
56	Calle 63	Carrera 30 - Carrera 28A	1,53
57	Calle 80	Carrera 64-Carrera 68	1,7
58	Calle 80	Carrera 29 - Carrera 30	1,7
59	Calle 80	Carrera 30 - Carrera 29	1,64
60	Calle 80	Carrera 68 - Carrera 64	1,64
61	Avenida Calle 26	Carrera 5 - Carrera 7	2,16
62	Avenida Calle 26	Carrera 38 - Carrera 30	3,65
63	Avenida Calle 26	Carrera 67A - Carrera 68	0,19
64	Avenida Calle 26	Carrera 67A - Carrera 68	0,19
65	Avenida Calle 26	Carrera 7 - Carrera 5	2,26
66	Avenida Calle 26	Calle 68	0,37
67	Avenida Calle 26	Carrera 30	2,26
68	Avenida Calle 26	Carrera 30	3,2
69	Carrera 13	Calle 45 - Calle 44	1,33
70	Carrera 13	Calle 53 - Calle 52	1,33
71	Carrera 13	Calle 28 - Calle 26A	1,64
72	Calle 100	Autopista Norte	3,35
73	Calle 100	Carrera 8ª	1,34
74	Calle 100	Carrera 9	0,8
75	Calle 100	Carrera 8ª	0,81
76	Calle 100	Autopista Norte	1,15
77	Calle 100	Carrera 9	0,81
78	Carrera 68	Calle 80	4,31
79	Carrera 68	Calle 80	4,31
80	Carrera 68	Calle 25	3,35
81	Carrera 68	Calle 80	3,35
82	Avenida Carrera 9 (Diagonal 97)	Transversal 17A - Carrera 19	2,47
83	Avenida Carrera 30	Calle 79 - Calle 78	1,93
84	Diagonal 92	Diagonal 97 - Carrera 19	1,93
85	Avenida Carrera 30	Avenida Calle 26 - Calle 39A	0,24
86	Avenida Carrera 30	Calle 63 - Calle 63A	2,96
87	Avenida Carrera 30	Calle 32A - Calle 31A	2,35
88	Avenida Carrera 30	Calle 60 - Calle 59	2,65
89	Avenida Carrera 30	Calle 60 - Calle 59	0,48
90	Calle 34	Avenida Calle 26 - Calle 27	1,64
91	Calle 34	Calle 27 - Calle 27A	1,64
92	Carrera 10	Avenida Calle 26 - Calle 28	2,03
93	Carrera 10	Calle 28 - Calle 26	2,27
94	Autopista Norte	Calle 97 - Calle 100	2,1

PÓRTICO	VÍA	TRAMO	DISTANCIA AFERENTE (KM)
95	Autopista Norte	Calle 97- Calle 100	2,1
96	Autopista Norte	Avenida Calle 80 - Calle 79	1,91
97	Carrera 5	Calle 26B - Carrera 4B	2,28
98	Carrera 60	Calle 44 - Calle 26	2,65
99	Carrera 7	Avenida Calle 26 - Diagonal 26	2,24
100	Carrera 33	Avenida Calle 26 - Calle 27	2,23
101	Calle 28	Avenida Carrera 30 - Carrera 27A	2,07
102	Avenida Carrera 19	Avenida Calle 26	0,69
103	Carrera 19 B	Calle 28 - Avenida Calle 26	1,34
104	Calle 45	Carrera 25A BIS - Carrera 27	0,95
105	Carrera 24	Calle 45 - Calle 45B	0,68
106	Calle 45	Carrera 25 - Carrera 27	0,7
107	Calle 54	Avenida Carrera 30 - Carrera 28	1,95
108	Carrera 24	Calle 53 - Calle 52	1,8
109	Calle 54	Carrera 28 - Avenida Carrera 30	1,94
110	Carrera 24	Calle 63 - Calle 62	2,25
111	Avenida Calle 68	Carrera 30 - Carrera 29A	2,38
112	Avenida Carrera 30	Calle 79B - Calle 80	2,47
113	Carrera 24	Calle 80 - Calle 78	2,25
114	Calle 85	Autopista Norte - Carrera 19B	1,4
115	Calle 85	Carrera 19 - Autopista Norte	1,65
116	Calle 92	Autopista Norte - Carrera 19B	0,87
117	Calle 94	Autopista Norte - Transversal 23	0,56
118	Calle 92	Carrera 19C - Autopista Norte	0,8
119	Calle 28	Calle 27A - Calle 41	1,56
120	Carrera 19 Bis	Calle 27 - Avenida Calle 26	0,74
121	Avenida Calle 68	Carrera 29A - Carrera 30	1,96
122	Calle 66	Carrera 29B - Carrera 29	2,38
123	Calle 82	Autopista Norte - Carrera 19	0,5
124	Carrera 60	Avenida Calle 26 - Calle 44	2,65
125	Carrera 57	Avenida Calle 26 - Calle 44	2,73

Fuente: Unión Temporal SDG – GSD – PHR (2018). *Entrega Final – Estructuración técnica del sistema de cobro por distancia recorrida para vehículos motorizados privados que circulan en Bogotá. D.C. Entregable IV* pp. 43-46. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

El estudio recomienda para la implementación del sistema de cobro, “proponer un proceso de implantación por etapas que permita mitigar riesgos y aprender lecciones, referente al control de la evasión” Unión Temporal SDG – GSD – PHR, (2018). Estos cobros se realizarán al cruzar por los pórticos a la entrada o salida del sistema, como se evidencia en la siguiente ilustración.

Figura 17. Ubicación Área aferente entre pórticos



Fuente: Unión Temporal SDG – GSD – PHR (2018). *Entrega Final – Estructuración técnica del sistema de cobro por distancia recorrida para vehículos motorizados privados que circulan en Bogotá. D.C. Entregable IV pp. 43-46.* Secretaría de Movilidad de Bogotá.

La ciudad de Bogotá se encuentra dividida en 20 localidades, y está constituida en cuatro zonas: zona Norte, zona Centro-Este, zona Oeste y zona Sur. La zona del Centro se delimita desde la carrera 1ª a la 14 y de la calle 5ª a la 34, en la cual incluye el barrio histórico de La Candelaria, el Centro Internacional y la Plaza de Bolívar, esta zona está rodeada de oficinas gubernamentales, museos, iglesias y otros edificios históricos, sin embargo, en el año 2014 se propuso por parte de la alcaldía de turno, realizar la delimitación del centro ampliado de Bogotá, según documento elaborado por la Secretaría Distrital de Planeación en coordinación con la Secretaría de Hábitat por lo cual, está comprendido así:

Norte: De occidente a oriente, con la avenida calle 80, desde la avenida longitudinal de occidente hasta la avenida 68. Con la avenida calle 100, desde la avenida 68 hasta la autopista norte. Y con la calle 64, desde la avenida Caracas hasta el límite urbano contra los cerros orientales subiendo por la carrera 1A.

Oriente: De norte a sur, con la autopista norte, desde la calle 100, hasta la calle 64. Con los cerros orientales, desde la calle 64 hasta la calle 3. Y con la carrera 3E y 5E, desde la calle 3 hasta la calle 22 sur.

Sur: De oriente a occidente, con la calle 22 sur desde la transversal 5E hasta la carrera 6. Con la calle 27 sur, desde la carrera 6 hasta la avenida Caracas. Con la avenida Caracas, desde el cruce con la carrera 6 hasta la diagonal 48 sur. Con la diagonal 48 sur, desde el cruce con la avenida Caracas hasta el cruce con la calle 48 sur. Con la carrera 19C, desde el cruce con la calle 48 sur hasta la avenida Boyacá.

Occidente: De sur a norte, con la avenida Boyacá, desde la carrera 19C hasta la avenida Centenario. Con la avenida Centenario, rodeando el centro de Fontibón, hasta la avenida longitudinal de occidente. Y con la avenida longitudinal de occidente, desde Fontibón hasta la avenida calle 80.

Figura 18. Delimitación del centro ampliado



Fuente: Secretaría de Movilidad de Bogotá y Secretaría de Hábitat (2014). *El plan urbano del centro ampliado de Bogotá, una estrategia para la revitalización urbana*. Secretaría de Movilidad de Bogotá y Secretaría de Hábitat pp. 16-18.

El centro expandido de Bogotá abarca sectores como son los centros financieros, empresariales y comerciales; dentro de estos sectores se encuentran la calle 100, Avenida Chile, Barrios Unidos, (hasta la Avenida NQS), Chapinero, Teusaquillo (hasta la Avenida NQS), Centro Administrativo,

Distrital (CAD), Centro Internacional de Bogotá, Avenida Jiménez, Santa Fé, La Candelaria, Los Mártires (hasta la Avenida Sexta). En estos sectores la demanda de congestión en transporte es alta, donde confluyen la mayoría de los vehículos particulares.

7.2.1 Estudios previos:

La información secundaria tuvo que ver con estudios y análisis realizados por la Secretaría de Movilidad, solicitados por los autores de este proyecto con el aval del programa de maestría en infraestructura vial de la Universidad Santo Tomás, mediante oficios con recibido de la SDM No. SDM-STPr -75725 -2020 y SDM-151456-2020 (Ver Anexo 1 Solicitud mediante oficio de información secundaria de la Secretaría de Movilidad de Bogotá)

En la primera solicitud realizada a la SDM se requirió la información de estudios realizados en Cobros por congestión en la Ciudad de Bogotá DC, por cuanto se obtuvieron los siguientes productos:

- Documentos referentes a estudios de Cobro por congestión realizados en la ciudad de Bogotá “Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la ciudad de Bogotá D.C.” adjudicado en 2012 mediante el contrato de consultoría 1869 de 2012.
- El segundo estudio adjudicado en 2017 mediante el contrato de consultoría 1668-2017 tuvo por objeto la “Formulación conceptual del sistema de cobro por distancia recorrida para vehículos motorizados privados que circulan en Bogotá”.
- Documento de Secretaría de movilidad correspondiente a la solicitud enviada a la Secretaría de Gobierno Distrital para presentarlo ante el Concejo de la ciudad de Bogotá desde esa entidad.
- Información del proyecto de cobros por congestión de 2012 relacionada con el tercer entregable de la consultoría. La disposición al pago se estudió por medio de una encuesta de preferencias declaradas “Cobros por congestión Bogotá 2012”.
- Cobros por congestión Bogotá 2012” información relacionada a volúmenes y velocidades que se tuvieron en cuenta para desarrollar la primera de las consultorías mencionadas.

De los estudios anteriormente descritos se verificó el avance del Distrito en la futura implementación en cobros por congestión, en donde están direccionados alrededor de la ciudad, mas no en la zona céntrica, razón por la cual es sumamente importante tomarlos como referencia para el desarrollo y la elección de la tipología más adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

Posteriormente en la segunda solicitud, teniendo claro por el grupo investigador el área aferente del centro ampliado de la ciudad de Bogotá, la Secretaría de Movilidad proporcionó información referente a conteos vehiculares en la Ciudad de Bogotá, específicamente en las siguientes direcciones:

Tabla 6. Corredores viales desde la calle 100 hasta la calle 6 y carrera 68 hasta carrera 7ma y circunvalar

Corredor Vial	Desde	Hasta
Av. Calle 100	Carrera 68	Carrera 7
Calle 85	Autopista Norte	Carrera 7
Calle 72	Carrera 68	Av. Circunvalar
Calle 45	Carrera 68	Av. Circunvalar
Av. El Dorado	Carrera 68	Av. Circunvalar
Calle 19	Av. Carrera 30	Av. Circunvalar
Calle 6	Av. Carrera 30	Av. Circunvalar
Carrera 68	Av. de las Américas	Av. Calle 100
Av. Carrera 30	Calle 6	Calle 92
Av. Caracas	Calle 6	Calle 92
Carrera 13 y 10	Calle 6	Calle 72
Carrera 7	Calle 26	Av. Calle 100

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 6, la Secretaría de Movilidad suministró lo siguiente:

Información del contrato de monitoreo que tiene como objeto la “captura y procesamiento de información de campo como complemento a las labores que efectúa la secretaría distrital de movilidad en el monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y transporte de Bogotá D.C.”, el cual enmarca dentro de su alcance, realizar la toma de información o monitoreo permanente, como insumo para el seguimiento y análisis de las condiciones del tránsito y transporte en la ciudad de Bogotá; dentro de los estudios que se llevan a cabo, se incluye la toma de información de volúmenes vehiculares en estaciones maestras, semaforizadas y no semaforizadas a lo largo de la malla vial, dando un indicador del uso de la infraestructura vial en la ciudad.

Partiendo de dicha información se analizaron los datos relevantes obteniendo así el punto de mayor congestión para evaluar el comportamiento en cuanto a congestión vehicular y así poder lograr la alternativa más adecuada para la implementación del cobro por congestión. A continuación, se mencionarán los documentos entregados por la Secretaría de Movilidad:

Tabla 7. Aforos Vehiculares disponibles

No.	TRAMO	INTERSECCIÓN	FECHA VOLÚMENES VEHICULARES	VOLUMEN HMD	ID
1	AC_100 ENTRE KR_68_Y_KR_7	AC_100_X_AK_15	NOVIEMBRE DE 2010	18293	1
2			MARZO DE 2011	20148	
3			MARZO DE 2012	23580	
4			MAYO DE 2013	25230	
6			MAYO DE 2014	26262	
7		AC_100_X_TV_60	OCTUBRE DE 2010	30136	2
8			AGOSTO DE 2012	30280	
9			AGOSTO DE 2013	30350	
10			MAYO DE 2014	30574	
11	CL_85_ENTRE_A K_68_Y_AK_7	AK_7_X_AC_85	MARZO DE 2011	16619	3
12			MAYO DE 2012	15847	
13			SEPTIEMBRE DE 2013	15236	
14			ABRIL DE 2015	14980	
15			MARZO DE 2016	13945	
16	AC_45_ENTRE_A K_68_Y_AV. CIRCUNVALAR	AK_7_X_AC_45	OCTUBRE DE 2010	14258	4
17			MAYO DE 2011	14588	
19			NOVIEMBRE DE 2013	15412	
20			JULIO DE 2014	16039	
21			ABRIL DE 2015	17552	
22	AC_26_ENTRE_K R_68_Y_AV. CIRCUNVALAR	AK 68 X AC 26	NOVIEMBRE DE 2010	47296	5
23			DICIEMBRE DE 2011	58271	
24			NOVIEMBRE DE 2012	59748	
25			JULIO DE 2013	63504	
26			MAYO DE 2014	67689	
27			ABRIL DE 2015	69641	
28			FEBRERO DE 2016	69458	
30			AGOSTO DE 2018	86170	
31	AC_19_ENTRE_A K_30_Y_AV. CIRCUNVALAR	AK_10_X_AC_19	NOVIEMBRE DE 2010	11340	6
32			DICIEMBRE DE 2011	11491	
33			ENERO DE 2012	11312	
34			SEPTIEMBRE DE 2014	8750	
35			SEPTIEMBRE DE 2015	7872	
36			FEBRERO DE 2017	6302	
37			FEBRERO DE 2018	6899	
39			FEBRERO DE 2019	6830	
40	CL_6_ENTRE_AK _30_Y_AV_CIRCU	KR_27_X_AC_6	MAYO DE 2011	15645	7
41			MARZO DE 2012	18540	

No.	TRAMO	INTERSECCIÓN	FECHA VOLÚMENES VEHICULARES	VOLUMEN HMD	ID
42	NVALAR		FEBRERO DE 2013	19368	
43	KR_68_ENTRE_A V_AMÉRICAS_Y_ AC_100	AK_68_X_AC_9	NOVIEMBRE DE 2010	42289	8
44			ENERO DE 2011	49507	
45			FEBRERO DE 2012	49654	
46			JULIO DE 2013	54628	
47			AGOSTO DE 2014	56558	
48		AK_68_X_AC_26	DICIEMBRE DE 2010	45390	9
49			DICIEMBRE DE 2011	58271	
50			NOVIEMBRE DE 2012	59748	
51			NOVIEMBRE DE 2013	63912	
52			SEPTIEMBRE DE 2014	65350	
53			ABRIL DE 2015	69641	
54			MAYO DE 2016	71129	
55			FEBRERO DE 2017	71277	
56			AGOSTO DE 2018	86170	
57			ENERO DE 2019	81984	
58	AK_30_ENTRE_C L_6_Y_CL_92	AK_30_X_AC_53	NOVIEMBRE DE 2010	51561	10
59			SEPTIEMBRE DE 2011	55780	
60			OCTUBRE DE 2012	59050	
61			FEBRERO DE 2013	58782	
62			MARZO DE 2014	59980	
63			ABRIL DE 2015	64927	
64	AK_14_ENTRE_C L_6_Y_CL_92	AK_14_X_AC_53	NOVIEMBRE DE 2010	3292	11
65			MARZO DE 2011	7872	
66			SEPTIEMBRE DE 2012	8472	
67			MARZO DE 2014	13050	
68			MAYO DE 2016	18357	
69			MARZO DE 2017	18576	
70	KR_13_Y_KR_10_ ENTRE_CL_6_Y_ CL_72	KR_13_X_AC_63	DICIEMBRE DE 2010	10480	12
71			MAYO DE 2011	9964	
72			MAYO DE 2012	9306	
73			NOVIEMBRE DE 2013	9297	
74			ENERO DE 2014	7893	
75	KR_7_ENTRE_CL _26_Y_AC_100	AC_63_X_AK_7	ENERO DE 2016	11914	13
76			FEBRERO DE 2017	10669	
77			FEBRERO DE 2018	7350	
78			FEBRERO DE 2019	6056	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 7 (Aforos vehiculares disponibles), el grupo investigador realizó la depuración de los datos entregados por la entidad distrital (SDM), en donde se analizaron los volúmenes en Horario de Máxima Demanda de cada una de las intersecciones identificadas con mayor flujo vehicular y se les asignó un número de identificación (ID), para obtener mayor facilidad al momento de realizar el comparativo de cada una de ellas, lo anterior teniendo en cuenta a su vez el Tramo y las intersecciones con mayor flujo vehicular.

Para una mayor interpretación de los datos arrojados es sumamente importante contextualizar y describir las características que presenta cada una de las intersecciones para ello tomando como referencia los aforos vehiculares y el estudio ya adelantado por Secretaría de Movilidad presentaremos a continuación un análisis puntual de cada una de ellas resaltando los aspectos más representativos en cuestión de ubicación y de congestión vehicular.

Tramo: AC 100 ENTRE KR 68 Y KR 7 - Intersección: AC 100 X AK 15 – ID (1):

La intersección de la carrera 15 (avenida paseo country) por avenida calle 100 (avenida Carlos Lleras Restrepo) se encuentra ubicada en el sector norte de la ciudad en la localidad de Usaquén. La carrera 15 cuenta con una glorieta a nivel que presenta circulación en todos los accesos, además contiene una calzada para tráfico mixto con cuatro carriles en circulación sur-norte hasta la glorieta, y dos calzadas en circulación norte-sur y viceversa con un separador central. la calle 100 está conformada por cuatro calzadas, las dos calzadas internas presentan paso elevado con tres carriles de circulación operando en sentido occidente-oriente y viceversa, mientras las externas presentan paso a nivel con tres carriles para tráfico mixto.

Para los movimientos y periodos aforados por parte de Secretaría de Movilidad se registró un total de 41.820 vehículos, de los cuales el 76,96% corresponde a taxis, el 7,65% corresponde a especiales placa-Bogotá y el 15,39% a especiales placa-otros. El acceso que más aporta a la intersección es el acceso sur con el 35,73% seguido por el acceso norte con el 24,71%. Registrándose la hora de máxima demanda entre las 07:45-08:45 horas con un total de 3.500 vehículos distribuidos así: el 77,94% corresponde a taxis, el 6,89% corresponde a especiales placa-Bogotá y el 15,17% a especiales placa-otros.

Tramo: AC 100 ENTRE KR 68 Y KR 7 - Intersección: AC 100 X TV 60– ID (2):

La intersección de la avenida calle 100 con avenida transversal 60 (avenida suba), se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad, en la localidad de suba. La avenida calle 100, permite la circulación en sentido oriente - occidente y viceversa, está conformada por cuatro calzadas, dos por sentido para tráfico mixto, cada calzada cuenta con dos carriles (incluye tpc). La avenida suba, permite la circulación en sentido norte - sur y viceversa, está conformada por cuatro calzadas, dos por sentido; las calzadas externas son para el tráfico mixto (incluye tpc), una por sentido y están conformadas por tres carriles cada una; las dos calzadas internas, una por sentido,

tienen dos carriles cada una y son para el uso exclusivo de transmilenio; la avenida suba tiene paso a nivel con la avenida calle 100.

El volumen total aforado y entregado por Secretaría de Movilidad fue de 157,819 vehículos mixtos, compuestos de la siguiente manera: el 69,8% corresponden a vehículos livianos, el 18,3% motos, el 9,4% a transporte público colectivo (colectivos, buseta / buseton, buses) y el 2,0% a vehículos de carga. Los períodos de máxima demanda se presentan entre las 15:30 y las 16:30 horas, y entre las 16:45 y las 17:45 horas. La hora pico total de la intersección se registra entre las 16:45 y las 17:15 horas, periodo en el que se moviliza un total de 10.967 vehículos mixtos, de los cuales el 67,0% corresponde a vehículos livianos, el 22,5% a motos, el 8,6% a transporte público colectivo y masivo, el 1,2% a camiones y finalmente las bicicletas con una participación del 0,8%.

Tramo: AC CL 85 ENTRE AK 68 Y AK 7- Intersección: AK 7 X AC 85– ID (3):

La intersección de la avenida carrera 7 por avenida calle 85 se encuentra ubicada en el sector nororiental de la ciudad en la localidad de chapinero. La avenida carrera 7 está caracterizada por tener dos calzadas de tres carriles, cada una con su respectivo separador central, operando en sentido norte-sur y viceversa. La avenida calle 85 está conformada por dos calzadas de dos carriles con su respectivo separador central, con sentido de circulación occidente-oriente. La ak 7 presenta carril preferencial para los buses del sistema integrado de transporte público en sentido sur-norte.

Para los movimientos vehiculares en los periodos aforados, la intersección registró un volumen total de 43.424 vehículos, de los cuales el 75,15% corresponde a livianos, el 5,12% a buses (incluyendo tpc, sitp provisional, sitp urbano, sitp complementario, sitp especial, dual y especiales), el 1,26% a camiones, el 18,47% a motos. El acceso con más aporte a la intersección es el acceso norte con 47,34%, seguido por el acceso sur con 43,07%. La hora de máxima demanda registrada se encuentra entre las 17:00-18:00 con una totalidad de 5.099 vehículos distribuidos así: el 69,62% corresponde a livianos, el 4,08% a buses (incluyendo tpc, sitp provisional, sitp urbano, sitp complementario, sitp especial, dual y especiales), el 0,76% a camiones y el 25,53 a motos.

Tramo: AC AC 45 ENTRE AK 68 Y AV. CIRCUNVALAR - Intersección: AK 7 X AC 45 ID (4):

La intersección de la avenida carrera 7 (avenida Alberto lleras Camargo) con avenida calle 45 (avenida francisco miranda) se encuentra ubicada en el sector oriente de la ciudad en la localidad de chapinero. La avenida carrera 7 está conformada por dos calzadas de tres carriles cada una

para tráfico mixto, divididas por un separador central, permite la circulación en sentido norte-sur y viceversa. La avenida calle 45 se caracteriza por tener una calzada de dos carriles para tráfico mixto, opera en sentido occidente-orienté.

El volumen total durante la toma de información suministrada por Secretaría de Movilidad fue de 90.297 vehículos mixtos, distribuidos de la siguiente manera: el 67,9% corresponden a vehículos livianos, el 20,3% a motos, el 8,7% a transporte público colectivo y masivo, el 1,9% a bicicletas y el 1,2% a vehículos de carga (camiones). Los períodos de máxima demanda se presentan entre las 06:30 y las 07:30 horas, las 10:30 y las 11:30 horas y entre las 17:15 y 18:15 horas. La hora pico total de la intersección se registra entre las 06:30 y las 07:30 horas, periodo en el que se moviliza un total de 6.160 vehículos mixtos, de los cuales el 67,4% corresponde a vehículos livianos, el 21,8% a motos, el 8,2% a vehículos de transporte público colectivo; en menor proporción se encuentran las bicicletas con una participación de 1,9% y finalmente los vehículos de transporte de carga con un 0,7%.

Tramo: AC 26 ENTRE KR 68 Y AV. CIRCUNVALAR - Intersección: AK 68 X AC 26 ID (5):

La intersección de la avenida carrera 68 por avenida calle 26 (avenida el dorado) se encuentra ubicada en el sector occidental de la ciudad en la localidad de Fontibón. La avenida carrera 68 pasa a desnivel de la avenida calle 26, está conformada por dos calzadas de cuatro carriles cada una para tráfico mixto operando en sentido norte-sur y viceversa. La avenida calle 26 se caracteriza por tener dos calzadas externas y dos internas divididas por un separador central, con circulación oriente-occidente y viceversa. Las calzadas externas cuentan con dos carriles para tráfico mixto, mientras que las calzadas internas tienen tres carriles, dos para tráfico mixto y uno exclusivo para transporte masivo de transmilenio.

El volumen total durante la toma de información de la intersección avenida carrera 68 por avenida calle 26 fue de 255.790 vehículos mixtos, de los cuales el 70,24% corresponden a vehículos livianos, el 18,29% a motos, el 6,11% a transporte público colectivo y masivo, el 3,27% a camiones y el 2,08% a bicicletas. El acceso más cargado es el oriente con el 27,4% del volumen total de la intersección, los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:30-08:30, las 11:45-12:45 y entre las 18:00-19:00 horas.

La hora pico total de la intersección se registra entre las 07:15-08:15 horas, periodo en el que se moviliza un total de 18.393 vehículos mixtos, de los cuales el 67,60% corresponde a vehículos livianos, el 20,11% a motos, el 4,57% a vehículos de transporte público colectivo, el 1,52% a transporte masivo, el 4,02% a camiones y finalmente las bicicletas con un 2,17%.

Tramo: AC 19 ENTRE AK 30 Y AV. CIRCUNVALAR - Intersección: AK 10 X AC 19ID (6):

La intersección de la carrera 10 por calle 19 se encuentra ubicada en el centro de la ciudad. Se conforma por dos calzadas para tráfico mixto (incluye tpc), y cuenta con calzada central para el sistema de transporte masivo, permite la circulación en sentido norte-sur y viceversa. La calle 19, está conformada por dos calzadas para tráfico mixto (incluye tpc), permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa. Los accesos a la intersección están regulados por un control semafórico.

El volumen total durante la toma de información de la intersección carrera 10 por calle 19 fue de 62.265 vehículos mixtos, de los cuales 32.463 corresponden a vehículos livianos, 12.849 a colectivo y masivo, 920 a camiones, 13.187 motos y 2.846 bicicletas. El acceso más cargado es el occidente con el 34% del volumen total de la intersección, los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:45-08:45 con 3.913 vehículos mixtos, el de medio día de 13:30-14:30 con 4.254 y en la tarde de las 16:45-17:45 horas con un volumen de 3.770. Siendo el período de medio día, la hora pico total de la intersección.

Tramo: CL 6 ENTRE AK 30 Y AV CIRCUNVALAR - Intersección: KR 27 X AC 6ID (7):

Este punto de toma de información está compuesto por las intersecciones del par vial ac 6 x ak 24 y ac 6 x ak 27, que se localizan en el centro-occidente de la ciudad, estas intersecciones se encuentran reguladas por un control semafórico. La avenida calle 6, está conformada por dos calzadas para tráfico mixto con separador central (incluye tpc), permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa. La avenida carrera 24, tiene separador central solamente al norte de la ac 6 a partir de donde se convierte en una calzada para tráfico mixto (incluye tpc), que permite la circulación en sentido sur-norte. la avenida carrera 27, al sur de la ac 6, está conformada por dos calzadas con separador central a diferencia del acceso norte donde dicho separador pierde continuidad, permite la circulación en sentido norte-sur para tráfico mixto (incluye tpc).

El volumen total del punto de aforo es de 100.148 vehículos mixtos, la composición vehicular es: livianos 88,59% (incluye particulares, motocicletas y bicicletas); transporte público colectivo (tpc) 5,94% (incluye colectivos, buses y busetas); tpm 0,13%, especiales 0,68%; intermunicipales 2,12% y camiones 2,54%. El acceso más transitado para el periodo de aforo es el sur con el 30,38% del volumen total. La hora de máxima demanda, se presenta entre las 08:45-09:45 con un volumen de 6.704 vehículos mixtos.

Tramo: KR 68 ENTRE AV AMÉRICAS Y AC 100- Intersección: AK 68 X AC 9 (8):

La intersección de la avenida carrera 68 con avenida calle 9 se encuentra ubicada en la zona centro de la ciudad. La avenida carrera 68 (avenida el congreso eucarístico) permite la circulación en sentido norte - sur y viceversa y está conformada por dos calzadas para tráfico mixto (incluye tpc), cada una con dos carriles de circulación. La avenida calle 9 (avenida las américas), permite la circulación en sentido oeste - este y viceversa, está conformada por dos calzadas, una por sentido de 4 carriles para tráfico mixto (incluye tpc) y dos carriles exclusivos del sistema transmilenio, el paso de la vía es sobrenivel a la avenida carrera 68.

El volumen total aforado fue de 296.538 vehículos mixtos, compuestos de la siguiente manera: el 56,7% corresponde a vehículos livianos, el 26,0% a motos, el 9,7% a transporte público colectivo y el 4,6% a vehículos de carga. Los períodos de máxima demanda se presentan entre las 06:15 y las 07:15 horas, entre las 12:45 y las 13:45 horas y entre las 17:15 y 18:15 horas. La hora pico total de la intersección se registra entre las 06:15 y 07:15 horas, periodo en el que se moviliza un total de 20.784 vehículos mixtos, de los cuales el 42,1% corresponde a vehículos livianos, el 39,7% a motos, el 9,3% a transporte público colectivo y masivo, el 3,1% a camiones y finalmente el 5,8% a bicicletas.

Tramo: KR 68 ENTRE AV AMÉRICAS Y AC 100- Intersección: AK 68 X AC 26 9 (9):

La intersección de la avenida carrera 68 por avenida calle 26 (avenida el dorado) se encuentra ubicada en el sector occidental de la ciudad en la localidad de Fontibón. La avenida carrera 68 pasa a desnivel de la avenida calle 26, está conformada por dos calzadas de cuatro carriles cada una para tráfico mixto operando en sentido norte-sur y viceversa. La avenida calle 26 se caracteriza por tener dos calzadas externas y dos internas divididas por un separador central, con circulación oriente-occidente y viceversa. Las calzadas externas cuentan con dos carriles para tráfico mixto, mientras que las calzadas internas tienen cuatro carriles, dos para tráfico mixto y dos para uso exclusivo de transmilenio.

El volumen total durante la toma de información de la intersección avenida carrera 68 por avenida calle 26 fue de 396.656 vehículos mixtos, de los cuales el 66,60% corresponden a vehículos livianos, el 24,15% a ciclos con motor, el 5,07% a transporte público colectivo y masivo, el 2,74% a camiones y el 1,44% a ciclos sin motor. El acceso más cargado es el occidente con el 27,1% del volumen total de la intersección, los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:00-08:00, las 13:45-14:45 y entre las 17:15-18:15 horas.

La hora pico total de la intersección se registra entre las 07:00-08:00 horas, periodo en el que se movilizaron un total de 30.664 vehículos mixtos, de los cuales el 55,47% corresponde a vehículos livianos, el 36,35% a ciclos con motor, el 3,75% a vehículos de transporte público colectivo, el 0,59% a transporte masivo, el 2,01% a camiones y finalmente los ciclos sin motor con un 1,83%.

Tramo: AK 30 ENTRE CL 6 Y CL 92- Intersección: AK 30 X AC 53 (10):

La intersección de la avenida carrera 30 (avenida ciudad de quito) con avenida calle 53 (avenida pablo VI) se encuentra ubicada en el centro de la ciudad en la localidad de Teusaquillo. La avenida carrera 30 pasa a desnivel de la avenida calle 53, está conformada por dos calzadas externas y dos internas divididas por un separador central, con circulación norte-sur y viceversa. Las calzadas externas cuentan con tres carriles para tráfico mixto, mientras que las calzadas internas tienen tres carriles, dos para tráfico mixto y uno exclusivo para el sistema de transporte transmilenio. La avenida calle 53 se caracteriza por tener dos calzadas, una por sentido de circulación con su respectivo separador central, cada una cuenta con dos carriles para tráfico mixto operando en sentido oriente-occidente y viceversa.

El volumen total durante la toma de información fue de 329.117 vehículos mixtos, distribuidos de la siguiente manera: el 67,6% corresponden a vehículos livianos, el 22,3% a motos, el 5,5% a transporte público colectivo y masivo, el 3,8% a vehículos de carga (camiones) y el 0,9% a bicicletas. Los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:00 y las 08:00 horas, y entre las 17:15 y las 18:15 horas. La hora pico total de la intersección se registra entre las 07:00 y las 08:00 horas, periodo en el que se moviliza un total de 23.207 vehículos mixtos, de los cuales el 62,2% corresponde a vehículos livianos, el 29,4% a motos; en menor proporción se encuentran los vehículos de transporte público colectivo con una participación de 3,2%, el transporte público masivo con 1,9%, los vehículos de transporte de carga con el 1,8% y finalmente las bicicletas con un 1,4%.

Tramo: AK 14 ENTRE CL 6 Y CL 92- Intersección: AK_14_X_AC_53 (11):

La intersección de la avenida carrera 14 (avenida caracas) con la avenida calle 53, se encuentra ubicada en el centro de la ciudad, en la localidad de chapinero. La avenida caracas está compuesta por cuatro calzadas con sentido de circulación norte-sur y viceversa, dos por sentido, de dos carriles cada una, las calzadas internas son de uso exclusivo del sistema transmilenio y las externas para la circulación de tráfico mixto. La avenida calle 53 se conforma de dos calzadas para tráfico mixto (incluye tpc), una por sentido, de dos carriles cada una, permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa.

El volumen total durante la toma de información de la intersección avenida carrera 14 por avenida calle 53 fue de 89.667 vehículos mixtos, de los cuales el 56,34% corresponden a vehículos livianos, el 29,09% a ciclos con motor, el 1,68% a transporte público colectivo, el 8,84% a transporte masivo, el 1,50% a camiones y el 2,54% a ciclos sin motor. el acceso más cargado es el norte con el 35,28% del volumen total de la intersección, los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:00-08:00, las 11:30-12:30 y entre las 17:15-18:15 horas.

La hora pico total de la intersección se registra entre las 17:15-18:15 horas, periodo en el que se moviliza un total de 6.584 vehículos mixtos, de los cuales el 45,08% corresponde a vehículos livianos, el 41,68% a ciclos con motor, el 1,46% a vehículos de transporte público colectivo, el 6,90% a transporte masivo, el 1,14% a camiones y finalmente los ciclos sin motor con un 3,75%.

Tramo: KR 13 Y KR 10 ENTRE CL 6 Y CL 72- Intersección: KR 13 X AC 63 (12):

La intersección de la carrera 13 con avenida calle 63 se encuentra ubicada en el sector noreste de la ciudad. La carrera 13 permite la circulación en sentido norte - sur y está conformada por una calzada para tráfico mixto (incluye tpc) con tres carriles de circulación. La avenida calle 63 está conformada por una calzada para tráfico mixto (incluye tpc) con tres carriles, permitiendo la circulación en sentido oeste-este.

El volumen total aforado durante la toma de información fue de 121.207 vehículos mixtos, compuestos de la siguiente manera: el 59.7% corresponden a vehículos livianos, el 19.9% a motos, el 17.7% a transporte público colectivo y el 1,8% a vehículos de carga. Los períodos de máxima demanda se presentan entre las 07:30 y las 08:30 horas, y entre las 17:15 y 18:15 horas. La hora pico total de la intersección se registra entre las 07:30 y 08:30 horas, periodo en el que se moviliza un total de 3.072 vehículos mixtos, de los cuales el 59.7% corresponde a vehículos livianos, el 23% a motos, el 14.8% a transporte público colectivo, el 1.6% a transporte de carga y finalmente el 0.9 % a bicicletas.

Tramo: KR 7 ENTRE CL 26 Y AC 100- Intersección: AC 63 X AK 7 (13):

La intersección de la avenida carrera 7 (avenida Alberto Lleras Camargo) por avenida calle 63 se encuentra ubicada en la localidad de chapinero. la avenida carrera 7 se caracteriza por tener dos calzadas; cada calzada cuenta con tres carriles, de los cuales dos son para tráfico mixto y uno exclusivo para transporte público colectivo; permite la circulación sentido sur-norte y viceversa, mientras que la avenida calle 63 está conformada por una calzada de cuatro carriles para tráfico mixto, permitiendo la circulación sentido occidente. La avenida calle 63 no presenta continuidad

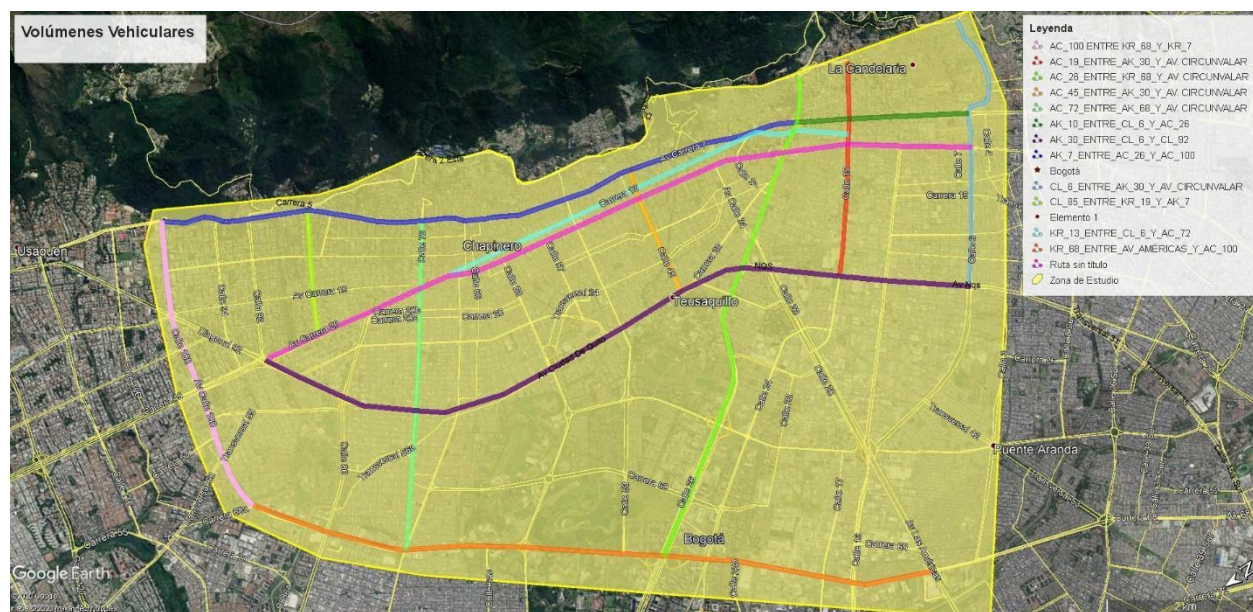
hacia el costado oriental. La avenida carrera 7 presenta un bicicarril en el acceso sur costado occidental.

El volumen total durante la toma de información fue de 43.918 vehículos mixtos distribuidos de la siguiente manera: el 5,52% corresponde a vehículos livianos, el 36,21% a taxis amarillos, 5,11% a motos, el 12,20% a vehículos especiales, el 8,01% a sitp, el 0,10% a tpc, el 31,65% a bicicletas y el 1,20% a vehículos de carga (camiones).

La hora pico total de la intersección se registra entre las 07:15 - 08:15 horas, periodo en el que se moviliza un total de 5.937 vehículos mixtos, de los cuales el 41,22% corresponde a vehículos livianos, 2,32% a motos, el 9,36% a especiales, 6,37% a transporte público colectivo y masivo; en menor proporción se encuentran el transporte de carga con un 0,86% y las bicicletas con un 39,87%. El acceso que más aporta a la intersección es el acceso sur con el 43,74% seguido por el acceso norte con un 38,28%.

Por otra parte, se puede apreciar por medio de un registro fotográfico (Ver Anexo 2. registro Fotográfico), las actividades registradas en campo de los aforos realizados por Secretaría Distrital de Movilidad.

Figura 19. Localización Corredores Viales según tabla 7



Fuente: Extraído de Google Earth y modificado por los autores

8. IMPACTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la investigación:

8.1 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA MODELACIÓN DEL PEAJE

Una vez verificada la información secundaria, en cuanto a los aforos realizados por Secretaría de Movilidad de Bogotá en los últimos años, se procedió a realizar un análisis de la información depurada y descrita en el capítulo anterior, que consistió en examinar por medio del uso de fórmulas matemáticas y análisis de regresión estadístico (Lineal, logarítmico, exponencial y potencial) el porcentaje de mayor efectividad (R^2), que nos permitió en determinar cuál es el método estadístico más efectivo para proyectar los volúmenes vehiculares de cada intersección al año 2025; En ese sentido se describió por cada una de las intersecciones anteriormente desarrolladas, cuáles fueron los datos tenidos en cuenta para dicha proyección; y el volumen de tráfico para el año 2025 arrojado por la ecuación con el porcentaje de mayor efectividad.

Así mismo aclaramos que se tomó la determinación de proyectar aún solo año (2025), el volumen de tráfico en cada una de las intersecciones dado que teniendo en cuenta los estudios realizados por Secretaría de Movilidad se encuentran bastante adelantados en cuestión de implementación de peajes alrededor de la ciudad los cuales podrían servir como base para adecuarlos a este tipo de investigación y pensar a corto plazo en la instalación de peajes urbanos en la zona céntrica de la ciudad de Bogotá.

A continuación, se presenta dicho análisis, teniendo en cuenta cada una de las intersecciones estudiadas; la finalidad es lograr diferenciar y ordenar de una manera ascendente cual es la proyección esperada de vehículos en Horario de Máxima Demanda para el año 2025, y así determinar cuál es el tramo y la intersección con mayor flujo vehicular, para posteriormente proponer en ese punto específico la tipología más adecuada de peaje urbano en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

Es importante aclarar a su vez que para cada una de las intersecciones se contó con los volúmenes en Horario de Máxima Demanda entre 4 a 5 años y fue a partir de allí que se realizó la proyección, así las cosas, se verificó año a año el crecimiento del flujo vehicular en los tramos e intersecciones de estudio los cuales se pueden apreciar en el Anexo 3. (Proyección de volúmenes en HMD).

De acuerdo a las proyecciones realizadas el cual están contempladas en el anexo 3, se podrá apreciar en la siguiente tabla el volumen vehicular en horario de máxima demanda a corte del 2025 y su respectivo comentario de acuerdo al ejercicio realizado.

Tabla 8. comparativo y análisis en cada una de las intersecciones.

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
AC_100 ENTRE KR_68_Y_KR_7	AC_100_X_AK_15	Modo Potencial $Y = 17916x^{0.2376}$ $R^2 = 0.9679$	34621	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo potencial, con un % 96.79, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 34621 vehículos en hora de máxima demanda.
	AC_100_X_TV_60	Modo Lineal $Y = 101,83x + 30004$ $R^2 = 0.9075$	31633	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 90.75, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 31633 vehículos en hora de máxima demanda.

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
CL_85_ENTRE_A K_68_Y_AK_7	AK_7_X_AC_85	Modo Lineal Y= - 461.67x+16895 $R^2 = 0.9215$	9970	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 92.15, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 9970 vehículos en hora de máxima demanda.
AC_45_ENTRE_A K_68_Y_AV. CIRCUNVALAR	AK_7_X_AC_45	Modo Exponencial Y= $13529e^{0.0383x}$ $R^2 = 0.9226$	24969	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo exponencial, con un % 92.26, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 24969 vehículos en hora de máxima demanda.
AC_26_ENTRE_K R_68_Y_AV.	AK 68 X AC 26	Modo Lineal Y=		

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
CIRCUNVALAR		$4048,2x+46499$ $R^2 = 0.905$	111270	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 92.36, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 111270 vehículos en hora de máxima demanda.
AC_19_ENTRE_A K_30_Y_AV. CIRCUNVALAR	AK_10_X_AC_19	Modo Exponencial $Y = -12761e^{-0.072x}$ $R^2 = 0.9039$		De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo exponencial, con un % 90.39, en donde se evidencia que disminuye el flujo vehicular en esta intersección, dado que los datos secundarios suministrados por la SDM, presentan una disminución significativa desde el año 2014 al 2019, por lo cual su comportamiento es decreciente al año 2025, con un total de vehículos en hora de máxima demanda de

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
			4033	4033.
CL_6_ENTRE_AK_30_Y_AV_CIRC UNVALAR	KR_27_X_AC_6	Modo Potencial Y= 15778x^0.1998 R ² = 0.9684	27104	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo potencial, con un % 96.84, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 27104 vehículos en hora de máxima demanda.
KR_68_ENTRE_A V_AMÉRICAS_Y_ AC_100	AK_68_X_AC_9		68883	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo potencial, con un % 95.23, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 68883 vehículos en hora de

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
		Modo Potencial Y= 46198x^0.2394 R ² = 0.9268		máxima demanda.
	AK_68_X_AC_26		89720	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo potencial, con un % 92.68, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 89720 vehículos en hora de máxima demanda
AK_30_ENTRE_C L_6_Y_CL_92	AK_30_X_AC_53	Modo Lineal Y= 2261,8x+50430 R ² = 0.9029	86619	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 90.29, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 86619

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
				vehículos en hora de máxima demanda
AK_14_ENTRE_C L_6_Y_CL_92	AK_14_X_AC_53	Modo Lineal Y= 2164,2x+2224,8 $R^2 = 0.9741$	36852	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 97.41, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 36852 vehículos en hora de máxima demanda
KR_13_Y_KR_10_ ENTRE_CL_6_Y_ CL_72	KR_13_X_AC_63	Modo Lineal Y= -584,1x+11140 $R^2 = 0.9039$	1794	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo lineal, con un % 90.39, en donde se evidencia que aumenta el flujo vehicular en esta intersección y en el cual se tiene una proyección para el año 2025 de 1794 vehículos en hora de máxima demanda

TRAMO	INTERSECCIÓN	Análisis de regresión estadístico.	Proyección de vehículos en HMD de la Intersección al año 2025	COMENTARIOS
KR_7_ENTRE_CL_26_Y_AC_100	AC_63_X_AK_7	Modo Exponencial $Y=15813e^{-0.24x}$ $R^2 = 0.9618$	1435	De acuerdo al análisis de regresión estadístico, la ecuación con mayor grado de efectividad es la de modo exponencial, con un % 96.18, en donde se evidencia que disminuye el flujo vehicular en esta intersección, dado que los datos secundarios suministrados por la SDM, presentan una disminución significativa desde el año 2018 al 2019, por lo cual su comportamiento es decreciente al año 2025, con un total de vehículos en hora de máxima demanda de 1435.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla No.9 y al análisis en cada una de las intersecciones, la intersección de mayor flujo vehicular en HMD es la ubicada en el tramo AC_26_ENTRE_KR_68_Y_AV. CIRCUNVALAR de la intersección AK 68 X AC 26, arrojando un total de 111.270 vehículos, en donde es evidente que dicha congestión puede generar consecuencias en accidentalidad, demora en los desplazamientos, inconformidad de los usuarios, alta contaminación ambiental por los gases producidos por el represamiento de los vehículos, no obstante, en la mayoría de las intersecciones analizadas hay un aumento en la cantidad de vehículos que pasa por cada intersección exceptuando aquellas que presentan una disminución al año 2025. Es por ello que se quiere analizar partiendo de la intersección con mayor flujo vehicular, cual es la tipología adecuada de peaje urbano para implementar en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

8.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PARA EVALUAR LAS ALTERNATIVAS DE PEAJE URBANO.

7.2.1 Modelación de Tránsito

A continuación se describe la metodología empleada para la evaluación de tránsito que se realizó a través del programa PTV Vissim 2021 versión estudiantil, esta consistió en una simulación de escala microscópica; con este procedimiento se analizó la malla vehicular de interés (AC_26_ENTRE_KR_68_Y_AV. CIRCUNVALAR de la intersección AK 68 X AC 26) para determinar la operación del tránsito, reportada con parámetros como demoras, capacidad, densidades de corredores, entre otros, teniendo en cuenta las condiciones de operación de la red vial actual, futura y con propuestas de intervención.

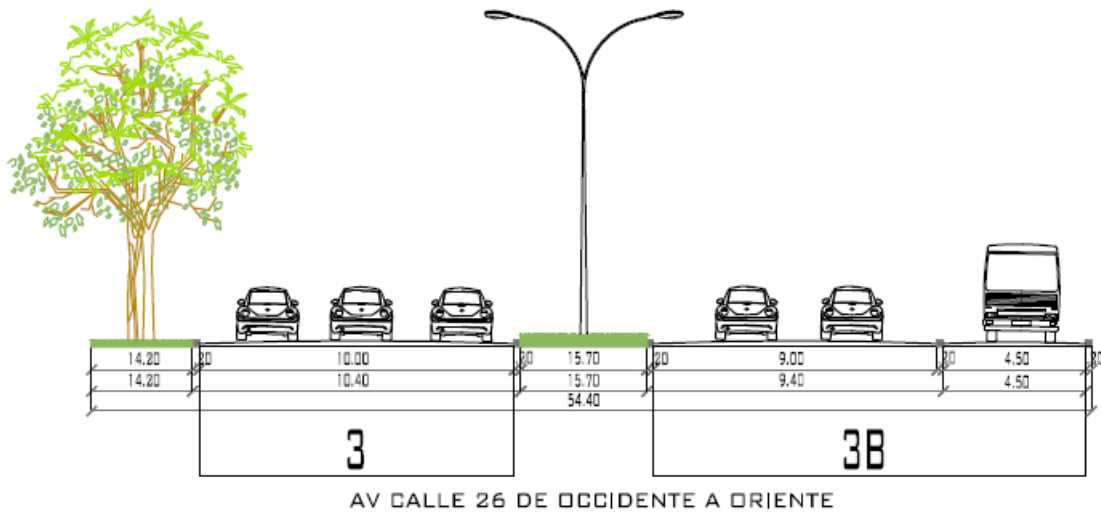
7.2.1.1 Construcción del modelo de tráfico

Los insumos principales utilizados para la construcción del modelo son: El volumen vehicular en HMD, la composición vehicular y las secciones transversales, debido a que estos datos representan la base de la demanda y capacidad de la red, no obstante, para replicar las condiciones en campo, se deben realizar ajustes en los distintos parámetros como la velocidad en que operan los vehículos, tipo de vehículos observados, comportamiento de los conductores, entre otros. Para la construcción del modelo dentro del programa se definen los siguientes parámetros:

Anchos y números de carriles: Se verificó tanto en campo como en plataformas digitales (google Earth), los anchos y los números de carriles de la intersección estudiada como se puede evidenciar en los siguientes perfiles:

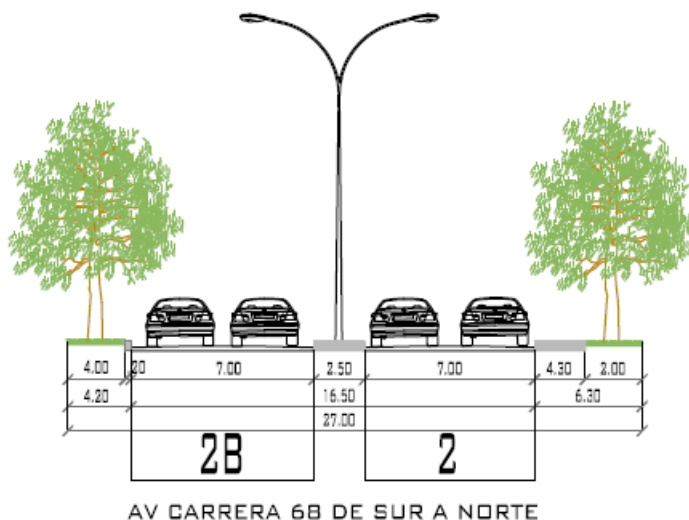
Sección típica transversal AV: Calle 26 de Occidente a Oriente: Está conformada por dos calzadas de tres carriles cada una, con un ancho de 4, 5 metros e incluye un carril de Transmilenio de un ancho 4,5 metros, el cual los sentidos viales se encuentran enumerados En calzada lenta 3 y calzada rápida 3B, como se muestra a continuación.

Figura 20. Sección transversal AV: Calle 26 de Occidente a Oriente



Sección típica transversal AV. Carrera 68 de Sur a Norte: Está conformada por dos calzadas de dos carriles cada una, con un ancho de 3,5 metros, el cual los sentido viales se encuentran enumerados En calzada lenta 2 y calzada rápida 2B, como se muestra a continuación.

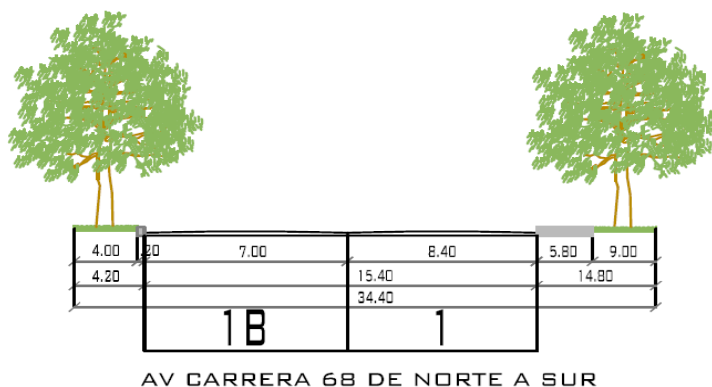
Figura 22. Sección transversal AV. Carrera 68 de Sur a Norte



Fuente: Elaboración propia.

Sección típica transversal AV. Carrera 68 de Norte a Sur: Está conformada por dos calzadas de dos carriles cada una, con un ancho de 3,5 metros para la calzada rápida y 4,2 metros para la calzada lenta, el cual los sentido viales se encuentran enumerados En calzada lenta 1 y calzada rápida 1B, como se muestra a continuación.

Figura 23. Sección transversal AV. Carrera 68 de Norte a Sur

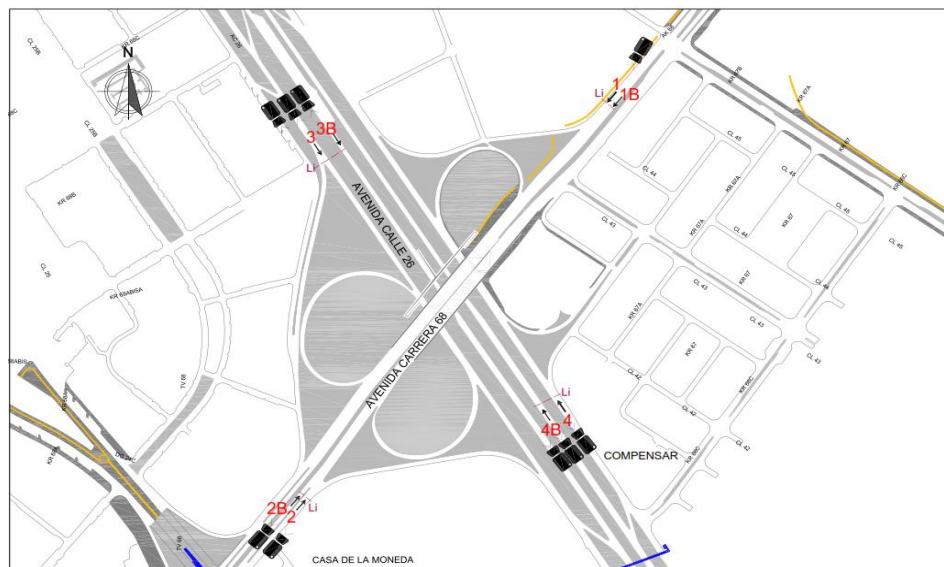


Fuente: Elaboración propia.

- Sentidos viales: Como se pudo apreciar en la tabla 10 se establecieron las direccionalidades de la intersección simulada.
- Carriles exclusivos de Transmilenio: Dichos carriles se verificaron y se realizaron las respectivas mediciones de los anchos de carril que se encuentran plasmadas en la tabla 10.
- Tipos de vehículos: De acuerdo a la información secundaria suministrada por Secretaría de Movilidad de Bogotá se determinó según sus aforos los tipos de vehículos que frecuentan y transitan por la intersección en los cuales se destacan: Vehículos livianos, camiones, vehículos intermunicipales, motocicletas, vehículos especiales, transporte masivo, bicicletas, vehículos mixtos y transporte público colectivo.
- Velocidades de circulación: Para este parámetro se realizó una inspección y medición en el lugar de estudio arrojando que para la calzada rápida los vehículos transitan entre 80 y 100 km/h, y para la calzada lenta se tiene una velocidad de 60 a 80 km/h, no obstante se hace la aclaración que para las vías urbanas la normatividad estipula que la velocidad de transito de los vehículos no debe superar los 60km/h, sin embargo, en la inspección realizada se evidenció lo mencionado. Así mismo tras la verificación de las experiencias internacionales se evidenció que al momento de implementar las medidas de peaje urbano, los vehículos llegan a una velocidad entre 30Km/h y 40Km/h, por lo que se tomó la determinación de realizar la simulación con estas últimas velocidades.

Para una mayor ubicación de la intersección de los parámetros descritos presentamos a continuación la siguiente figura:

Figura 24. Localización de la intersección AK 68 x AC 26



Fuente: Elaboración propia

Otros de los parámetros que se emplearon en la simulación son los que definen el comportamiento de conducción. En este ámbito, Se utilizaron algunos parámetros por defecto y otros modificados para lograr un comportamiento de conducción acercado al contexto local. Los parámetros modificados corresponden principalmente al tránsito de motocicletas y bicicletas, permitiendo que puedan adelantar y ser adelantados por otros vehículos en el mismo carril, además, se reduce la distancia mínima de circulación y detención entre estos y los demás vehículos, que permitió observar el serpenteo característico de las motocicletas, comportamiento que no está predeterminado en el software.

Considerando lo anterior se construyó el modelo de la situación actual, obteniendo la red presentada en la Figura 21.

Figura 25. Construcción del modelo sin proyecto



Fuente: Elaboración propia

Para los escenarios con intervención propuestos se realizó en primera instancia una evaluación de los tipos de peajes encontrados a nivel local e internacional; teniendo en cuenta nuestra revisión del estado del arte en donde se agruparon por tipo de cobro (manual o electrónico).

Peajes manuales: Se caracterizan por realizar el cobro de manera manual y se agrupan en esta tipología los peajes como (Peaje Manual, Peaje sombra, Peaje abierto, Peaje cerrado, Peaje anual), por cuanto el comportamiento en cuestión de tiempo de circulación por las estaciones son iguales. Dentro de los ejercicios realizados en cuestión de tiempo se encontró que para estas tipologías los autos demoran alrededor de los 153 segundos, los buses, 171 segundos, y los camiones 197 segundos.

Peajes electrónicos: Se caracterizan por realizar el cobro de manera electrónica (detección electrónica con foto celdas, chips, sistemas a porticados, entre otros), y se agrupan en esta tipología los peajes como (Peaje urbano de congestión, Peajes Free – Flow y Peaje basado en la red GNSS), por cuanto el comportamiento en cuestión de tiempo de circulación por las estaciones son similares. Dentro de los ejercicios realizados en cuestión de tiempo se encontró que para estas tipologías los autos, buses y camiones disminuyen sus velocidades alrededor de 30 y 40 Km/h.

7.2. Limitaciones de la simulación

Debido a que la simulación de tránsito se realizó con la licencia estudiantil que ofrece PTV Vissim 2021 versión estudiantil, existieron algunas restricciones para la construcción y evaluación de la simulación de tránsito, las más relevantes de estas restricciones se presentan en la tabla 11.

Tabla 9. Límites máximos de para la licencia de estudiantil

Licencia	PTV Vissim 2021 (Student)
Dispositivo de control semafórico	10
Tamaño de la red	1.0 km x 1.0 km
Periodo de evaluación	600 s
Cantidad de peatones	30

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis realizado en este trabajo de grado, estas limitaciones representaron dos principales inconvenientes:

- El tamaño limitado de la red no permitió evaluar el impacto de las propuestas de intervención en intersecciones aledañas a la simulada.
- La limitación en el periodo de evaluación no permitió obtener resultados para toda la HMD y tampoco se pudo considerar un tiempo para precargar la simulación.

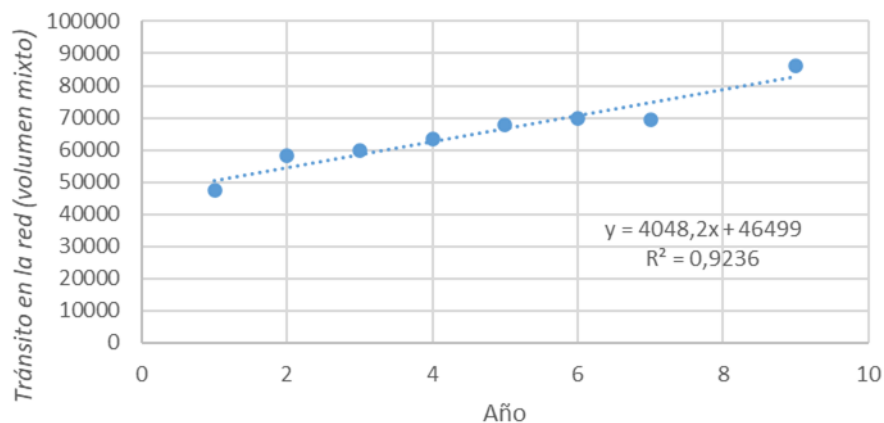
8.3 Volumen vehicular y proyección del tráfico a futuro

La proyección de tráfico a futuro fue realizada a partir del análisis descrito en el capítulo 7 del presente trabajo de grado, en donde partir de la evaluación de una información secundaria teniendo en cuenta los aforos suministrados por Secretaría de Movilidad de Bogotá, se realiza la proyección en HDM para el año 2025 y los resultados de cada una de las intersecciones evaluadas se pueden consultar en el anexo 3, sin embargo, a continuación se presenta una figura el cual corresponde a la proyección del tráfico de la red evaluada.

Figura 26. Proyección del tráfico en la red vial

Tramo: AC_26_ENTRE_KR_68_Y_AV. CIRCUNVALAR - Intersección: AK 68 X AC 26 ID (5)

ANÁLISIS DE REGRESIÓN ESTADÍSTICO MODO LINEAL



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, proyectar los volúmenes mediante este procedimiento permitió obtener el volumen total de vehículos por modo que se ingresan a la red para cada escenario, teniendo en cuenta una reducción de vehículos livianos correspondiente al 30% ya que las medidas de peaje urbano tienden a obtener dicha reducción dato que es suministrado a partir del estudio del estado del arte de este proyecto, los volúmenes obtenidos y su respectiva reducción se presentan en la tabla 9.

Tabla 10. Sentido Flujos Vehiculares - Volumen HMD

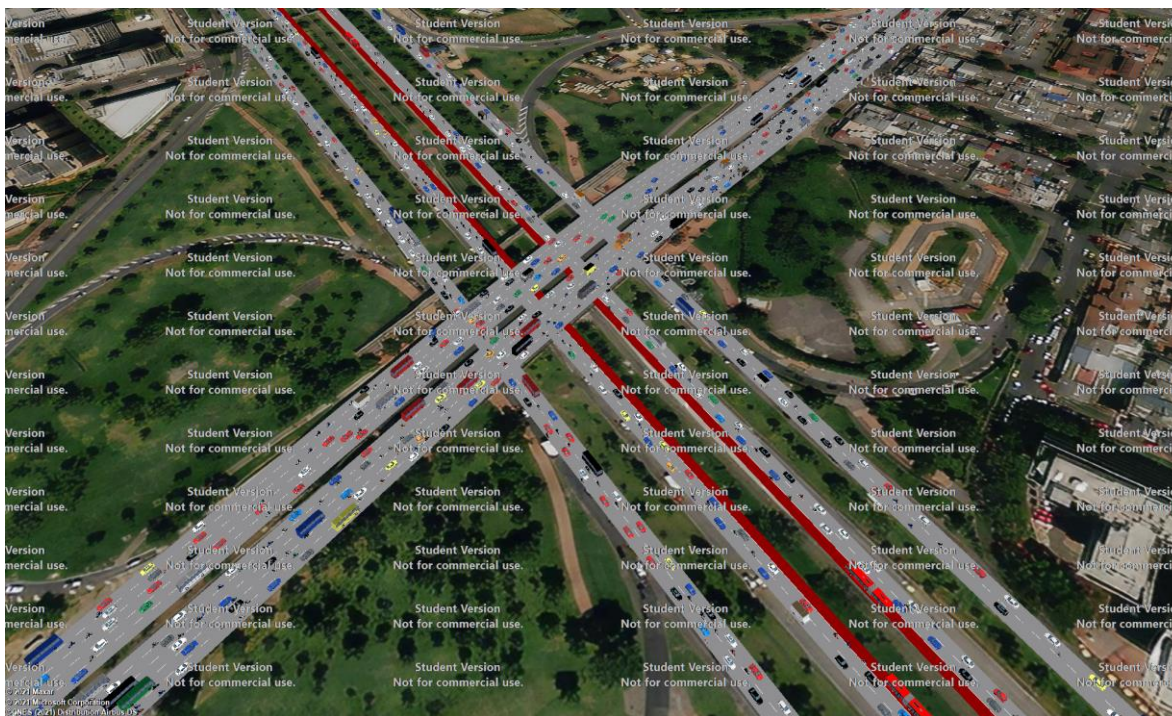
AÑO	SENTIDO	HORA	LIVIANOS	Afectación del 30%	Valor total de livianos X 30%	TPC	TPM	ESPECIAL	INTERMUNICIPAL	CAMIONES	MOTOCICLETAS	BICICLETAS	MIXTOS
2025	1	07:00-08:00	1921	576	1345	167	0	803	18	7	1395	140	4451
	1B	07:00-08:00	2364	709	1655	17	0	693	2	10	1765	29	4880
	2	07:00-08:00	1381	414	967	169	0	696	35	25	1457	208	3971
	2B	07:00-08:00	2416	725	1691	28	0	799	1	10	4421	102	7777
	3	07:00-08:00	2727	818	1909	39	0	851	0	18	2195	71	5901
	3B	07:00-08:00	3202	961	2241	15	197	742	0	35	2926	14	7130
	4	07:00-08:00	1969	591	1378	59	0	767	0	25	1512	46	4378
	4B	07:00-08:00	1750	525	1225	14	209	775	0	6	1921	14	4688
TOTAL 2025	N/A	07:00-08:00	17733	5319	12414	508	406	6123	56	136	17589	623	43174

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Resultados de la modelación

Considerando lo expuesto anteriormente, se realizó la simulación diez veces durante 600 s, cuyos resultados promedios se presentan a continuación:

Figura 27. Red durante la simulación de tráfico



Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo de la modelación se tuvieron en cuenta cuatro escenarios ver Anexo 4. (*programa PTV Vissim 2021 versión estudiantil*), el primero de ellos hace referencia al año 2018, donde se modelan los datos iniciales suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, en los aforos realizados de la intersección AK 68 X AC 26, seguidamente y tras la proyección realizada, se modeló el comportamiento para el año 2025 y a partir de dicha proyección se realizó la modelación para los diferentes tipos de peajes agrupados en peajes electrónicos y peajes manuales, de acuerdo a cada variable en cuestión de densidad, demora relativa y velocidad media.

Dentro de los datos mas relevantes se obtuvo que para el año 2018 la velocidad media más alta fue de 26.92 (Km/h), la demora relativa fue de 0.65 y la densidad de 98.37, para el corredor Av. Calle 26 sentido oriente occidente, calzada rápida, y la velocidad media más baja fue de 18.85 (Km/h), la demora relativa fue de 0.68 y la densidad de 150.74 para el corredor Av. Calle 26 sentido occidente oriente, calzada lenta, a partir de los datos obtenidos es importante establecer una verificación de los parámetros máximos y mínimos de los demás escenarios:

Para el año 2025, La modelación para los peajes electrónicos y peaje manual arrojaron un comportamiento similar, donde se obtuvo una velocidad media máxima de 24,39 Km/h, una demora relativa de 0.61 y una densidad de 244,14 para el corredor Av. Carrera 68 sentido norte sur. Por otra parte, para el corredor de la Av. Calle 26 sentido occidente oriente la velocidad media mínima fue de 18,98 Km/h, una demora relativa de 0.65 y una densidad de 175,65 para la calzada lenta, y para la calzada rápida la velocidad media mínima fue de 21,51 Km/h, una demora relativa de 0.67 y una densidad de 192,99, en cuestión del escenario con el peaje electrónico, ahora bien con el peaje manual se presentan unas diferencias bastantes significativas en los tres parámetros para el mismo corredor vial, Av. Calle 26 sentido occidente oriente (Calzada Rápida) la velocidad media mínima fue de 6,77 Km/h, una demora relativa de 0.90 y una densidad de 316,95 y para la calzada lenta la velocidad media mínima fue de 10,06 Km/h, una demora relativa de 0.83 y una densidad de 237,58, lo que significa claramente el rendimiento efectivo del peaje electrónico en cuestión de los tres parámetros evaluados.

Una comparación de los resultados obtenidos en los corredores para el escenario de 2018 y el de 2025 evidencia una disminución de velocidades al pasar los años, esto puede obedecer al aumento proyectado del tráfico vehicular, lo que incrementa la congestión y, por ende, disminuyen las velocidades de circulación, sin embargo, para los escenarios del año 2025 en cuestión del peaje electrónico y manual y teniendo en cuenta la reducción de los vehículos livianos, se evidencia claramente la mejora en la velocidad, densidad y demora relativa que tiene la simulación del peaje electrónico.

Por ende, es importante establecer que la tipología con el peaje electrónico disminuye la cantidad de vehículos que transiten por dicho corredor vial y así se aumentaría la velocidad de los vehículos generando mayor circulación del tráfico.

A continuación, lo anteriormente descrito se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados por corredor evaluado

Escenario	Corredor	Densidad	Demora relativa	Velocidad media (km/h)
2018	Av. Carrera 68 N-S	228.17	0.61	25.17
	Av. Carrera 68 S-N	362.08	0.66	20.84
	Av. Calle 26 OR-OCC (Rápida)	98.37	0.65	26.92
	Av. Calle 26 OCC-OR (Rápida)	170.83	0.72	21.07
	Av. Calle 26 OR-OCC (Lenta)	96.80	0.57	25.35

Escenario	Corredor	Densidad	Demora relativa	Velocidad media (km/h)
	Av. Calle 26 OCC-OR (Lenta)	150.74	0.68	18.85
2025	Av. Carrera 68 N-S	313.51	0.65	22.23
	Av. Carrera 68 S-N	421.47	0.66	20.72
	Av. Calle 26 OR-OCC (Rápida)	155.76	0.71	21.23
	Av. Calle 26 OCC-OR (Rápida)	197.80	0.70	21.27
	Av. Calle 26 OR-OCC (Lenta)	135.64	0.63	21.95
	Av. Calle 26 OCC-OR (Lenta)	181.80	0.68	18.75
2025_Peaje Electrónico	Av. Carrera 68 N-S	244,14	0,61	24,39
	Av. Carrera 68 S-N	366,43	0,65	21,47
	Av. Calle 26 OR-OCC (Rápida)	121,66	0,55	24,73
	Av. Calle 26 OCC-OR (Rápida)	192,99	0,67	21,51
	Av. Calle 26 OR-OCC (Lenta)	114,92	0,48	22,26
	Av. Calle 26 OCC-OR (Lenta)	175,65	0,65	18,98
2025_Peaje Manual	Av. Carrera 68 N-S	244,14	0,61	24,39
	Av. Carrera 68 S-N	366,43	0,65	21,47
	Av. Calle 26 OR-OCC (Rápida)	134,96	0,92	5,04
	Av. Calle 26 OCC-OR (Rápida)	316,95	0,90	6,77
	Av. Calle 26 OR-OCC (Lenta)	103,52	0,83	9,42
	Av. Calle 26 OCC-OR (Lenta)	237,58	0,83	10,06

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, para el desempeño de la red en cada uno de los escenarios de la modelación realizada, se evidenciaron los siguientes resultados:

La demora promedio más alta correspondió al peaje manual para el año 2025, con un valor de 145,69 s, Vehículos atendidos de 4515, la velocidad media a 13.51 Km/h, una demanda latente de 157389,6 s y unas demoras de 145,69 s, lo que descarta con estos datos cuantitativos la implementación a dicho año de una tipología manual, teniendo en cuenta que los datos obtenidos son deficientes y podrían generar inconformidad a los usuarios de la intersección estudiada.

A su vez se evidenció que para los escenarios 2018 y 2025 se presentó un incremento para el año 2025 en todos los parámetros analizados teniendo en cuenta que aumenta de acuerdo con la proyección vehicular anual. Es por eso que el peaje electrónico es el más indicado en cuestión de tipología para implementar en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá. Teniendo en cuenta que

los resultados obtenidos de los parámetros analizados son los más adecuados en relación al estudio desarrollado.

Tabla 12. Desempeño de la red

Escenario	Resultado	Velocidad de operación (Km/h)	Demoras (s)	Demanda Latente (s)	Vehículos atendidos
2025	Promedio	20,96	96,39	108310,5	5786
Peaje_Manual		13,51	145,69	157389,6	4515
Peaje_Electrónico		22,02	85,92	29278,7	5183
2025	Mínimo	20,34	93,88	305,0	5610
Peaje_Manual		12,56	134,22	567,0	4227
Peaje_Electrónico		21,42	81,67	58,0	4992
2025	Máximo	21,38	99,68	413,0	5970
Peaje_Manual		14,66	154,20	924,0	4905
Peaje_Electrónico		22,69	90,53	133,0	5426

Fuente: Elaboración propia.

Para integrar los resultados de la simulación a la comparación de escenarios propuestos se consideran los resultados para el año 2025 y sus intervenciones. Para estos se utilizan tres parámetros que representan la operación de red. Entre esto, la velocidad de operación media de todos los vehículos, las demoras promedio y la demanda latente de la red, que representa una relación entre la demanda y la oferta. En la velocidad de operación, un mayor puntaje representa mejores velocidades de operación, mientras que las demoras y la demanda latente son mejor calificada (mayor puntaje) cuando disminuyen dichos parámetros.

Tabla 13. Matriz de comparación

	Velocidad de operación	Demoras	Demanda Latente
2025_ Peaje Electrónico	5	4	2
2025_ Peaje Manual	3	1	0

8.5 EVALUACIÓN DE MATRIZ MULTICRITERIO

Para realizar el análisis de la información referente a los tipos de peajes implementados a nivel internacional y nacional, se propuso evaluar por medio de una matriz multicriterio, el cual se caracteriza por ser una herramienta utilizada para valorar distintas elecciones (cuantitativa y cualitativamente), tomando como referencia una puntuación de 0 a 5, respecto a criterios de interés seleccionados donde se determinó la tipología del peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

De acuerdo a la investigación obtenida en el desarrollo del presente trabajo, se analizaron diferentes alternativas para la implementación de peajes, como los son (Peaje abierto, Peaje cerrado, Peaje anual, Peaje urbano de congestión, Peajes Free – Flow, Peaje sombra, Peaje Manual y Peaje basado en la red GNSS); cuya descripción de los mismos se encuentran establecidos en el numeral 5 (Estado del Arte), basados en estos sistemas de cobro, se determinan las características más relevantes que podrían influir en el tipo de elección para escoger el más adecuado a implementar en los centros urbanos, en este caso en el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

En concordancia con lo anteriormente expuesto, es importante describir cada una de las características y los criterios cualitativos más relevantes que se analizarán en la matriz multicriterio para cada tipo de peaje:

Infraestructura: Analizar los tipos de peajes, la capacidad en cuestión de ocupación referente a su infraestructura física.

Forma de Pago: Verificar que el pago sea asequible para toda la ciudadanía, donde se implemente varios canales para maximizar la facilidad de pago.

Puntos de Cobro: Evaluar teniendo en cuenta el tipo de peaje, cual es el más versátil para instalar en varios puntos de control en la zona urbana de la ciudad.

Con base en los criterios mencionados, se realiza la Matriz Multicriterio para la priorización de la mejor tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá, de acuerdo a los siguientes lineamientos:

1. Se disponen en una matriz los criterios de evaluación seleccionados en las columnas, y las soluciones identificadas en las filas.
2. Llenado de las celdas valorando la presencia de cada criterio en cada una de las soluciones utilizando la siguiente escala: 0 = Deficiente, 1 = Aceptable, 2 = Regular, 3 = Bueno, 4 = Muy bueno, 5 = Excelente, para cada solución, con el criterio que se esté considerando.
3. Realizar sumatoria de puntos para cada solución dispuestos en las filas.
4. Establecer un orden de prioridad atendiendo la puntuación obtenida por cada solución según la sumatoria. Tendrá mayor prioridad la solución que obtenga mayor puntaje en la sumatoria.

Tabla 14. Matriz multicriterio (Peaje manual y peaje electrónico).

TIPOS DE PEAJE	Infraestructura	Forma de Pago	Puntos de cobro	Velocidad de operación	Demoras	Demanda latente	Puntaje Total
Manual (Abierto-Cerrado-Manual-Sombra)	2	3	2	3	1	0	11
Electrónico (Free Flow-Urbano de Congestión-Red GNSS)	4	5	4	5	4	2	24

Fuente: Elaboración propia.

Los anteriores valores fueron asignados de acuerdo a unas calificaciones de tipo cualitativo y cuantitativo, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Cualitativamente se tuvieron en cuenta parámetros como infraestructura, forma pago, puntos de cobro; en el cual se le dio una ponderación en una escala de 1 a 5, evaluando a cada una de las variables con respecto al tipo de peaje (Manual y Electrónico).

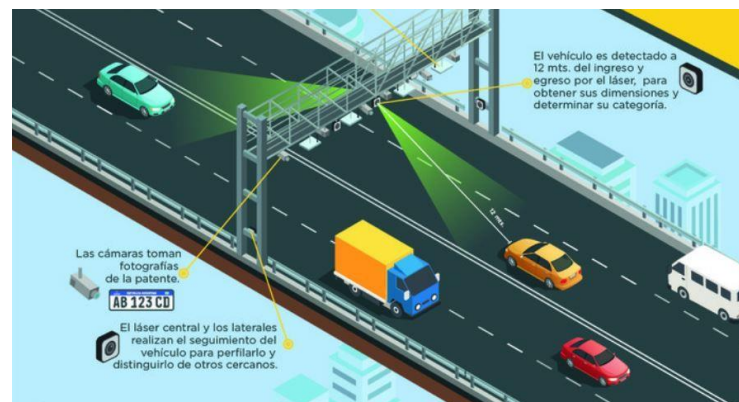
Por otra parte, las variables cuantitativas como la velocidad de operación, demoras y demanda latente, fueron obtenidas de la micro simulación desarrollada por medio del software Vissim, en donde se determinaron los valores de 1 a 5, de acuerdo a los resultados obtenidos en el año 2025 de los escenarios modelados tomando como referencia el valor máximo de cada parámetro evaluado.

De acuerdo a la evaluación realizada, se concluye que la tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá debe ser una tipología electrónica, (Peaje Free Flow-Urbano de Congestión-Red GNSS), teniendo en cuenta que su valoración en la matriz multicriterio de fue de veinticuatro (24) puntos, dentro de los tres tipos de peajes, se recomienda para su implementación la tipología de peaje free Flow, por cuanto se caracteriza por un sistema

que consta de un pórtico instalado al lado o encima de la carretera, conformado por un equipo con detección de presencia de vehículos, lo que origina la identificación del vehículo y contiene cámara para comprobar la validez del pago encontrándose una etiqueta instalada en cada vehículo.

Por otra parte, este tipo de peaje es usado en donde no hay espacio para una estación de peaje, como por ejemplo en la zona urbana. Al momento de presentarse fallas en los controles para realizar el respectivo cobro, este es determinado por el software OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), el cual permite realizar el reconocimiento de las imágenes de los vehículos que transitan por el sector (Delgado Tenorio, 2008). Ver figura a continuación.

Figura 33. Peaje Free Flow



Fuente: Peaje Free Flow (04 de febrero de 2021). En Parabrisas.

<https://parabrisas.perfil.com/noticias/noticias/se-vienen-los-peajes-sin-barreras-como-funcionan.phtml>

9. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del trabajo es importante resaltar la revisión del estado del arte que permitió evaluar las experiencias vividas a nivel internacional y nacional en cuestión de implementación de peajes urbanos dentro de las ciudades, por ejemplo, en Singapur, Londres, Estocolmo, Milán, Gotemburgo, Edimburgo, Manchester, Nueva York todas estas ciudades mantienen ingresos con excelentes sistemas de transporte público que eran y siguen siendo el principal modo de acceso a la zona de cobro, el cual fortalece el desarrollo de implementación de este tipo de medidas resaltando la baja contaminación y la calidad de vida de los usuarios; Por otra parte en Milán, Londres, Estocolmo y Gotemburgo se refrendó la medida con referéndum público o mediante su inclusión dentro del programa de gobierno del alcalde elegido, sin embargo en Manchester y Edimburgo no pasó la consulta popular o no fue aprobado por el concejo de la ciudad, lo que indica claramente que se debe trabajar en una coordinación interinstitucional para lograr la aprobación de este tipo de medida.

En todos los casos, previo a la implantación de la medida se reforzó la cobertura y calidad del transporte público y se adelantó un proceso de socialización y educación a los ciudadanos, La ruta crítica del cronograma de implantación depende de los aspectos legales y políticos, logrando para aquellos países que cuentan con la implementación dentro de la ciudad bajar el número de vehículos, mejorando la infraestructura de la zona y fomentar el uso del transporte público.

Otro aspecto por resaltar durante la presente investigación es que a partir de la información secundaria suministrada por secretaría de Movilidad de Bogotá, se obtuvo la intersección con el mayor flujo de vehicular el cual fue fundamental para tomarla como referencia de micro simulación y realizar la propuesta de una tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá.

En cuestión de la simulación realizada es importante resaltar la construcción del modelo tráfico el cual a partir del volumen vehicular en HMD, la composición vehicular y las secciones transversales, nos permitieron evaluar y verificar en campo el comportamiento de la intersección más congestionada definiendo anchos, números de carriles, sentidos viales, carriles exclusivos de Transmilenio, tipos de vehículos, velocidades de circulación. Con lo anteriormente descrito logramos estandarizar los escenarios de evaluación de los tipos de peajes el cual fueron agrupados por tipo de cobro (manual y electrónico), sin embargo, es importante resaltar que la simulación de tránsito se realizó con la licencia que ofrece PTV Vissim 2021 versión estudiantil, en donde existieron algunas restricciones para la construcción y evaluación de la simulación de tránsito, las más relevantes de estas restricciones fueron: Licencia (PTV Vissim 2021 (Student)), Dispositivo de control semafórico, Tamaño de la red, Periodo de evaluación y Cantidad de peatones, en donde para el análisis realizado en esta investigación, estas limitaciones representaron dos principales inconvenientes: El tamaño limitado de la red y la limitación en el periodo de evaluación.

En concordancia con la microsimulación para integrar los resultados a la comparación de escenarios propuestos se consideraron los resultados para el año 2025 y sus intervenciones en donde se utilizaron tres parámetros que representan la operación de red, la velocidad de operación media de todos los vehículos, las demoras promedio y la demanda latente de la red, que representa una relación entre la demanda y la oferta. En la velocidad de operación, se definió que el mayor puntaje representa mejores velocidades de operación, mientras que las demoras y la demanda latente son mejor calificada (mayor puntaje) cuando disminuyen dichos parámetros, ponderando de una manera cuantitativa dichas variables.

Finalmente tras evaluar la parte cuantitativa con la microsimulación se definieron características cualitativas dependiendo de los tipos de peajes evaluados (manuales y electrónicos), el cual nos permitió analizar dentro de la matriz multicriterio características en cuestión de infraestructura, forma de pago, y puntos de cobro, obteniendo con estos resultados que la mejor propuesta de tipología adecuada de peaje urbano para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá, son los peajes electrónicos específicamente el peaje free Flow, por cuanto se caracteriza por ser un sistema que consta de un pórtico instalado al lado o encima de la carretera, conformado por un equipo con detección de presencia de vehículos, lo que origina la identificación del vehículo y contiene cámara para comprobar la validez del pago encontrándose una etiqueta instalada en cada vehículo. Este tipo de peaje es usado en donde no hay espacio para una estación de peaje, como por ejemplo en la zona urbana. Al momento de presentarse fallas en los controles para realizar el respectivo cobro, este es determinado por el software OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), el cual permite realizar el reconocimiento de las imágenes de los vehículos que transitan por el sector, así mismo, esta tipología viene siendo utilizada a nivel internacional en ciudades como Singapur, Londres, Estocolmo, México (Autopista urbana sur) lo que nos permite traer a colación para el éxito que han tenido dichas ciudades en cuestión de disminución de tráfico vehicular para el ingreso a las zonas céntricas, mejora continua en la calidad del aire y la calidad de vida de los usuarios.

Los aspectos positivos y la contribución al impacto social teniendo en cuenta las ventajas y beneficios en términos de movilidad sostenible, desde el análisis del sistema de cobro por congestión más adecuado para la ciudad de Bogotá en su zona centro y las experiencias a nivel internacional se enumeran de la siguiente manera:

1. Reducción del tráfico entrante en el centro urbano y disminución de la congestión vehicular.
2. Mejora de la velocidad de desplazamiento.
3. Bajas tasas de accidentes de Tránsito.
4. Se podrá ver reflejado con estudios posteriores una mejora sustancial en las condiciones medio ambientales, (calidad del aire y habitabilidad) en el entorno de la ciudad.
5. Mayor eficiencia en la distribución urbana de mercancías por ser una zona de alto comercio.
6. Mayor potenciación o inversiones en infraestructura vial sostenible en (transporte público, mantenimiento y adecuación del espacio público, ciclo - ruta entre otros) derivados de los fondos, obtenidos a través de este tipo de sistemas.

10. APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados de esta investigación son un insumo para las autoridades de movilidad de la ciudad para determinar la importancia de la instalación de un peaje urbano basándose en las

experiencias citadas. Además, ayuda a determinar los sitios adecuados para su instalación y el tipo de peaje a implementar. Se evaluará la posibilidad de hacer entrega formal de los resultados a la Secretaría de Movilidad.

Basados en la investigación realizada es importante resaltar cada uno de los aportes que genera la misma a la comunidad y el adelanto para hacer realidad una alternativa que mejorará sin lugar a duda la reducción del tráfico de ingreso a la zona céntrica de la ciudad de Bogotá, la calidad del aire, inversión en infraestructura para mejoras de movilidad, incentivar el uso del transporte público el cual permitirá también en avanzar en el desarrollo de la ciudad y del país.

Los aspectos y aportes más representativos son descritos a continuación:

- Es una medida complementaria a la política general de transporte en ciudad y en particular a la mejora del sistema de transporte público.
- Su fin es que los usuarios del carro perciban el costo real de congestionar la ciudad y cambien las decisiones de qué viajes hacen y en qué modo de transporte.
- A largo plazo es superior al “pico y placa” porque no restringe la circulación y además tiene el potencial de generar recursos para reinvertir en el sector movilidad.
- El cobro debe ser transparente, verificable y fácil de entender.
- La tipología planteada inicialmente ha sido basada en cobrar por entrar, al centro de la ciudad.
- El mecanismo de detección combina dispositivos a bordo y cámaras, que permitirán una fácil detección (Fecha y hora, categoría del vehículo, sentido de desplazamiento, numero de detecciones, punto específico de detección y tipo de usuario); así mismo, Cuando el usuario atraviesa un punto de detección, el vehículo es detectado y el sistema genera el cobro, asignando la tarifa aplicable según la estructura tarifaria y exenciones definidas, convirtiéndose en un recurso económico de forma versátil.

Por otra parte se logrará con la medida planteada lo siguiente:

- Oportunidades para mejorar el transporte público y el no motorizado. Creación de un círculo virtuoso de transporte sustentable en la ciudad.
- Potenciar la zona con la implementación de planes en la ciudad como bicicletas públicas, zonas amarillas y plan de estacionamientos.
- El sistema es financieramente viable y tiene el potencial de generar recursos fiscales para el sector de la movilidad.
- Los niveles de flujo de caja por el recaudo permitirán plantear un esquema con requerimientos de financiación sin necesidad de deuda a largo plazo.

Otros de los aspectos mas representativos y como aporte fundamental para el sector involucrado es la microsimulación realizada en el programa PTV Vissim 2021 (Student) a partir de la evaluación de la congestión vehicular de la intersección AK 68 X AC 26, el cual nos permitió determinar y evaluar variables como Demora promedio, Demora en detención promedio, Velocidad media, demora latente, demanda latente congestión vehicular, las cuales fueron fundamentales para realizar la recomendación de implementación del sistema de cobro electrónico por congestión para el centro ampliado de la ciudad de Bogotá; dicho programa puede ser utilizado para evaluar cualquier zona de congestión y que en conjunto con las variables cuantitativas y cualitativas descritas en el documento se podrían generar diferentes escenarios por parte de cualquier interesado (persona natural, entes públicos, universidades etc..) con relación a determinar la tipología de cobro más adecuada en cualquier intersección

Con lo anteriormente expuesto es claro que los aportes en cuestión de implementación de esta medida son importantes teniendo en cuenta el adelanto planeado en esta investigación, evaluando las experiencias a nivel internacional desde el estado del arte, la microsimulación realizada y la tipología de peaje propuesta, para que pueda implementarse y tomarse como referencia.

11. RECOMENDACIONES A FUTURAS INVESTIGACIONES

Las futuras investigaciones referentes a los cobros por congestión deben tomar como referencia y conocer de primera mano la perspectiva de la comunidad teniendo en cuenta una evaluación completa de las necesidades en cuestión de movilidad y transporte sostenible.

Se deberá realizar investigaciones futuras con el seguimiento, control e inversión en infraestructura vial con los recursos que puedan generar estos sistemas, estableciendo una evaluación económica con la finalidad de determinar los posibles impactos sociales generados por la instalación de un peaje urbano, lo anterior aplicando métodos de evaluación para determinar las variables involucradas para el desarrollo de los cobros por gestión, dentro de los que se destacan encuestas de preferencias declaradas, para la determinación y la disposición al pago de un peaje.

Adelantar investigaciones enfocadas o alternativas con un peaje urbano (móvil), y evaluar tabular, las horas pico para que estos puedan utilizarse en los lugares de mayor congestión de las ciudades, inicialmente realizando pruebas aleatorias con la comunidad.

Se recomienda evaluar los costos de infraestructura del peaje electrónico y realizar un análisis tarifario del costo del peaje urbano por tipo de vehículo.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC y horarios de la nueva medida de Pico y Placa en Bogotá (13 de mayo de 2020). En la Secretaría de Movilidad de Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/pico-y-placa-horarios-y-abc-de-la-medida-desde-el-22-de-septiembre>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. (2014). *El plan urbano del centro ampliado de Bogotá una Estrategia para la revitalización urbana*. Secretaría Distrital de Planeación, Secretaría de Hábitat. <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/01.centro-ampliado.pdf>
- Aleatica (2018). *Informe anual 2018*. Smart & Sustainable Infrastructure. <https://inversionistasmx.aleatica.com/wp-content/uploads/2019/05/ALEATICA-Informe-Anual-2018-final-LR-16-may-19.pdf>
- Arcila A, & Quintero J, F. (2017). Análisis de la aplicabilidad internacional del sistema vial de tarifa electrónica (erp) de Singapur y su impacto a la movilidad: Un enfoque socioambiental para la ciudad de medellín1. *Revista Mundo Asia Pacífico*, 41-58. <file:///C:/Users/INGEIDU-SERV/Downloads/4767-Article%20Text-17433-1-10-20170630.pdf>
- Cabello Eras, J. J., Orozco Fontalvo, M., Ayala Rueda, C., Hernández Herrera, H., & Romero Leiro, P. (2016). Evaluación de la calidad de vida urbana en las principales ciudades Colombianas. *Revista Brasileña de Gestion y Desarrollo Regional*, 13(1) ,106-127. <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2731/573>
- Cada día más costosa la construcción del circuito exterior mexiquense (27 de mayo de 2020). En Sol de México. <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/valle-de-mexico/construccion-cem-cada-dia-mas-costosa-circuito-mexiquense-2808130.html>
- Celi Santiago F, (2018). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. *Revista Espacios*, Vol. 39 (Nº 18), 1-16. https://www.researchgate.net/publication/325130617_Analisis_del_transporte_publico_a_nivel_mundial.
- Ciudades donde se paga peaje para entrar en vehículo (20 de mayo de 2020). En Cope. https://www.cope.es/actualidad/internacional/noticias/conoce-que-ciudades-del-mundo-tienen-peajes-urbanos-20181031_285398
- Cortes, S., & Leal, E. (2019). Análisis de la implementación del modelo de peajes urbanos internacionales para la aplicación en el corredor vial de la avenida Boyacá en la ciudad de Bogotá D.C. [Tesis de Maestría], Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16445?show=full>
- Delgado Tenorio, M. (28 de mayo de 2020). *Descripción de los peajes free flow*. Manuel Delgado. <https://manueldelgado.com/descripcion-de-los-peajes-free-flow/>

- En 45 minutos de Toreo a salida a Cuernavaca (27 de mayo de 2020). En Transporte México.
<https://www.transporte.mx/en-45-minutos-de-toreo-a-salida-a-cuernavaca/>
- Environmental Protection Agency [EPA] (2020). *La calidad del aire interior*. EPA.
<https://espanol.epa.gov/>
- Garcés Granda, I. (2009). El peaje a congestión en Londres: Su aporte a la movilidad sostenible. *Revista de ingeniería Universidad de los Andes-Bogotá*, 29, 137-147.
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n29/n29a17.pdf>
- La Supervía Urbana Poniente sube sus precios (27 de mayo de 2020). En Atraccion360.
<https://www.atraccion360.com/la-supervia-urbana-poniente-suba-sus-precios>
- Las tecnologías de telepeaje urbano (14 de mayo de 2020). En Wikipedia.
<https://ecomovilidad.net/madrid/las-tecnologias-telepeaje-urbano/>
- Lupano J. & Sánchez R. (2009). *Política de movilidad urbana e infraestructura urbana de transporte*. CEPAL y France Coopération, Colección Documentos de Proyectos.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3642/1/S2009021_es.pdf
- Ministerio de Transporte de Colombia (2018). *En marzo de 2019 todos los peajes del país deberán ser electrónicos*. Ministerio de Transporte Colombia.
https://mintransporte.gov.co/micrositios/peajes_electronicos/
- Muñoz Miguel, J. P., Carrasco Díaz, D., & Anguita Rodríguez, F. (2012). Los sistemas de peaje urbano de anticongestión: Efectos y resultados sobre la movilidad sostenible en el ámbito de las grandes ciudades. *AEDEM*, 1-15.
https://eciencia.urjc.es/bitstream/handle/10115/7887/Los%20sistemas%20de%20peaje%20urbano%20de%20anticongestion_AEDEM_2012_%20Barcelona.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz, J., & Anguita, F. (2018). Los peajes urbanos como factor determinante de sostenibilidad y competitividad en el transporte urbano: Un estudio aplicado a Madrid. *Eure*, 44(131), 53-74. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/eure/v44n131/0250-7161-eure-44-131-0053.pdf>
- Peaje manual (02 de junio de 2020). En Tecsidel. <https://tecsidel.com/press/peaje-manual/>
- Peaje urbano en Cartagena (27 de mayo de 2020). En Mundonoticias.
<https://mundonoticias.com.co/alcalde-william-dau-reitera-compromiso-de-acabar-con-peajes-urbanos-en-cartagena/>
- Peajes electrónicos (02 de junio de 2020). En Ministerio de Transporte de Colombia.
https://mintransporte.gov.co/micrositios/peajes_electronicos/
- Peajes urbanos: una opción para descongestionar la ciudad (20 de mayo de 2020). En Pauta.
<https://www.pauta.cl/calidad-de-vida/peajes-urbanos-una-opcion-para-descongestionar-la-ciudad>
- Pozueta Echaverry, J. (2008). La experiencia internacional en peajes urbanos. Instituto Juan de Herrera. *Cuaderno de Investigación Urbanística* (58), 1-116. file:///C:/Users/INGEIDU-SERV/Downloads/La_experiencia_internacional_de_peajes_urbanos.pdf

Peaje anual (22 de febrero de 2021). <https://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>.

Red troncal de autobuses de Estocolmo y la instauración del peaje urbano (20 de mayo de 2020). En Movilidad Sostenible Chile.

<http://movilidadsosteniblechile.blogspot.com/2007/08/red-troncal-de-autobuses-de-estocolmo-y.html>

Saldaña Alegre P, Vassallo Magro J, M & Sierra Tamayo J, (2012). *Sistemas electrónicos de cobro de peaje: la experiencia europea*. Archivo Digital UPM.

[http://oa.upm.es/21175/1/INVE MEM 2012 128972.pdf](http://oa.upm.es/21175/1/INVE_MEM_2012_128972.pdf)

Secretaría de Movilidad de Bogotá (2013). *Secretaría de movilidad arranca socialización de las medidas complementarias al pico y placa*. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

https://www.movilidadbogota.gov.co/web/secretaria_de_movilidad_arranca_socializacin_de_las_medidas_complementarias_al_pico_y_placa.

Secretaría de Movilidad de Bogotá y Secretaría de Hábitat (2014). *El plan urbano del centro ampliado de Bogotá, una estrategia para la revitalización urbana*. Secretaría de Movilidad de Bogotá y Secretaría de Hábitat.

<http://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/publicaciones/estudios/plan-urbano-del-centro-ampliado-de-bogota>.

Secretaría de Movilidad de Bogotá (2017). *Observatorio de movilidad Bogotá D.C/2017*. Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Bogotá.

[https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/documentos/observatorio/Observatorio de movilidad 2017 min.pdf](https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/documentos/observatorio/Observatorio_de_movilidad_2017_min.pdf)

Secretaría de Movilidad de Bogotá, (2019). *Informe de indicadores encuesta de movilidad de Bogotá*. Alcaldía Mayor de Bogotá y Secretaría de Movilidad de Bogotá.

<https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/encuestas-de-movilidad/>

Tampa-Hillsborough se sumó a la disfunción de SunPass (27 de mayo de 2020). En Miami News24. <https://www.miaminews24.com/2019/05/24/tampa-hillsborough-se-sumo-a-la-disfuncion-de-sunpass/>

Tarifa de Congestión en Londres: Conducir por el Centro de Londres (14 de mayo de 2020). En Wikipedia. <https://trucoslondres.com/vivir/transporte/tarifa-congestion-londres/>

Tarifas de congestión de Singapur (22 de agosto de 2020). En Wikipedia.

https://es.wikipedia.org/wiki/Tarifas_de_congesti%C3%B3n_de_Singapur

Tyler, N., Bohórquez Acevedo, J., Barejo Suescún, J. P., & Velásquez, J. M. (2013). *Cobros de congestión en Ciudades Colombia*. UCL, Embajada Británica Bogotá, Universidad de los Andes. [https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Cobros-de-congesti%C3%B3n-en-ciudades-Colombianas UCLULA Abril2013.pdf](https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Cobros-de-congesti%C3%B3n-en-ciudades-Colombianas_UCLULA_Abril2013.pdf).

Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C.*

Documento de línea base de Diagnóstico Producto 3. Documento de línea base de diagnóstico pp. 1-476. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

Unión Temporal Sdg-Phr-Akiris (2013). *Elaborar los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la Ciudad de Bogotá. D.C. Documento de línea base de Diagnóstico Producto 4. Evaluación de alternativas pp. 132-135. Secretaría de Movilidad de Bogotá.*

Unión Temporal SDG – GSD – PHR (2018). *Entrega Final – Estructuración técnica del sistema de cobro por distancia recorrida para vehículos motorizados privados que circulan en Bogotá. D.C. Entregable IV pp. 1-671. Secretaría de Movilidad de Bogotá.*

