



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE FERREO DE PASAJEROS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BOSTON Y ASPECTOS PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE FERREO EN BOGOTÁ

YOTI DE LA HOZ CASTILLA: 502121

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.

2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE FERREO DE PASAJEROS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BOSTON Y ASPECTOS PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE FERREO EN BOGOTÁ

YOTI DE LA HOZ CASTILLA: 502121

Proyecto de grado
Modalidad Visita Técnica Internacional

Asesor: ING. HEBERTO RINCON RODRÍGUEZ
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.
2018



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

TABLA DE CONTENIDO

1. Generalidades.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
<i>1.1.1 USA</i>	3
<i>1.1.2 Bogotá</i>	5
1.2 Justificación.....	5
1.3 Planteamiento y formulación del problema	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	7
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	7
1.5 Delimitación.....	8
1.5.1 <i>Espacio</i>	8
1.5.3 <i>Alcance</i>	9
1.5.4 <i>Limitaciones</i>	9
1.6 Marco de referencia	9
1.6.1 Marco teórico	10
1.6.2 <i>Marco histórico</i>	12
1.6.3 <i>Marco legal</i>	16
1.7 Metodología	19
2. Innovaciones tecnológicas del sistema de transporte férreo de pasajeros en el área metropolitana de Boston y aspectos para el desarrollo de infraestructura de un sistema de transporte férreo en Bogotá.....	22
2.2 Actualidad movilidad Bogotá	24
2.2.1 <i>Sistema férreo Bogotá</i>	28
2.2.2 <i>Planes y mejoras en STFP Bogotá</i>	29
2.2.3 <i>Tecnologías vigentes en Bogotá</i>	36
2.3.1 <i>Visita 1</i>	41
2.3.2 <i>Conversación 1</i>	42
2.3.1 <i>Observación de campo</i>	45
2.3.2 <i>Caracterización sistema férreo en Boston</i>	48
2.3.3 <i>Infraestructura</i>	48

2.3.4 Accesibilidad.....	54
2.3.5 Funcionamiento, automatización y control del sistema.	54
2.3.6 Sostenibilidad.....	56
2.3.7 Prioridades para el desarrollo (aspectos relevantes del transporte).....	56
2.3.8 Tecnologías	58
2.3.9 Análisis infraestructura y tecnología aplicadas en Boston	61
2.3.10 Comparación equivalente datos existentes	62
2.3.11 Análisis requerimientos según datos proyectados	66
2.4. Innovaciones tecnológicas e infraestructura relevantes aplicables a un sistema férreo	
Bogotá.....	71
2.4.1 Cuadro comparativo innovaciones y estructuras relevantes.....	71
La siguiente tabla muestra de manera general y comparativa las tecnologías e infraestructura más relevante encontrada en Boston y Bogotá, para posteriormente explicar cada una y como se puede emplear la transferencia tecnológica.	71
2.5 Transferencia tecnológica a Bogotá.....	72
2.5.1 Infraestructura:	72
2.5.2 Combustible	74
2.5.3 Automatización y Control	74
2.6 CONCLUSIONES	75
2.6.1 De la Experiencia.	75
2.6.2 Del análisis de datos y lo que estos datos dicen de la situación actual.	76
2.6.3 De la propuesta tecnológica.	77
Bibliografía	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Red férrea en Estados Unidos.....	12
Figura 2 Red férrea en Boston	13
Figura 3 Red férrea en Colombia.....	14
Figura 4. Red férrea en Bogotá.....	15
Figura 5 Red férrea en Bogotá.....	18

Figura 6 <i>Metodología</i>	20
Figura 7. Trocha Férrea.....	23
Figura 8, Red Transmilenio.	25
Figura 9. Buses SITP	26
Figura 10. Modalidades Sistema integrado Transporte	27
Figura 11. Ruta tren de la sabana.....	29
Figura 12. Diseño proyectado metro de Bogotá	32
Figura 13. Plano Metro. Primera fase	33
Figura 14. Red Férrea Bogotá.....	34
Figura 15. Red proyectada Regiotram	35
Figura 16. Locomotoras a vapor	37
Figura 17, Locomotora Diesel Turistren.....	38
Figura 18. Mapa ubicación Boston	39
Figura 19. Panorama ciudad Boston.	39
Figura 20. Línea cronológica acontecimientos Boston.....	41
Figura 21. Visita 1.....	42
Figura 22. Diagrama para distribución de velocidad.....	43
Figura 23. Segmento 4 vagones línea roja MBTA	44
Figura 24. Tablero de control instalaciones MBTA	45
Figura 25. Centro de monitoreo MBTA.	46
Figura 26. Interior estación Forrest Hill, MBTA	47
Figura 27. Ingreso estación subterránea.....	47
Figura 28. Distribución red férrea Boston	50

Figura 29. Túnel al inicio estación red roja MBTA.....	51
Figura 30. Cruce de sentido en estación terminal.....	52
Figura 31. Puente paso trayecto vehicular.....	52
Figura 32. Puentes para atravesar cuerpo de agua.....	53
Figura 33. Línea férrea tradicional a nivel urbano.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos sistema actual pasajeros.....	62
Tabla 2. Datos proyectados construcción red vial Bogotá.....	66
Tabla 3. Resumen tecnologías Boston-Bogotá.....	71

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Población total Vs porcentaje de servicio.....	63
Gráfica 2. Población total Vs Longitud de vías.....	64
Gráfica 3. Porcentaje equivalencia habitantes/metro red.....	65
Gráfica 4. Longitud equivalente capacidad de servicio Boston.....	67
Gráfica 5. Longitud equivalente capacidad de servicio Boston.....	68
Gráfica 6. Tiempo de construcción equivalente.....	69
Gráfica 7. Cantidad Kilometraje construcción 5 años.....	70
Gráfica 8. Construcción total 5 años.....	70

Introducción

El crecimiento de una ciudad va ligado al trabajo humano y este a su vez manifiesta resultados que se materializan de diversas formas. La infraestructura física de una ciudad no solo sirve de soporte para que el funcionamiento sea adecuado, sino que tiene grandes componentes que determinan el adecuado desarrollo de las actividades de la población.

Cuando se habla de los medios de transporte, se tiene presente el recurso mecánico de los automotores o vehículos encargados de la movilidad, sea de pasajeros o de carga, pero en la mayoría de las ocasiones se omite el hecho que, sin una adecuada infraestructura, un medio de transporte no puede ser realmente eficiente. Un vehículo puede tener la mejor tecnología, pero si la autopista que va a recorrer no cuenta con el diseño y condiciones adecuadas, dicho vehículo no podría transitar de manera óptima.

Las obras propias para cada medio de transporte son coadyuvantes de la movilidad, y con esto el desarrollo de un país se puede ver beneficiado, tanto a nivel económico, ambiental y de bienestar poblacional.

En ciudades como Boston-Estados Unidos, existe un sistema integrado de transporte, donde no solo cuentan con buses de transporte masivo, sino también con barcos, metro y trenes de cercanía, donde a su vez se puede observar varios tipos de construcciones desarrolladas para la movilidad, entre ellas puentes, túneles, edificaciones subterráneas, entre otras. Al realizar una observación se puede ver que, si bien los medios de transporte que utilizan son parecidos en muchas formas en a los presentes en diferentes ciudades, también se puede observar que las construcciones realizadas, son fundamentales para su labor.

En Colombia debido al aumento de la población y el desplazamiento demográfico hacia las capitales del país, cada vez es más evidente la necesidad de optimizar el funcionamiento de los

medios de transporte a nivel metropolitano, garantizando la movilidad de los usuarios, con mayor eficacia en tiempos y espacios.

Actualmente se debaten temas tales como el metro como solución a los problemas de movilidad en Bogotá, proyecto que no se ha realizado aproximadamente hace 30 años, tiempo en que se empezó a hablar de él.

Con este trabajo se pretende, identificar esas tecnologías e infraestructuras que han llevado al sostenimiento de este medio de transporte en ciudades como Boston y tenerlas como posibles alternativas, para que Colombia haga aprovechamiento de los recursos disponibles y pueda implementar dichas tecnologías, para el avance en el transporte y la unificación del sistema masivo.

1. Generalidades

1.1 Antecedentes

1.1.1 USA

En 1631 era utilizado el ferry, medio de transporte marítimo, el cual pertenecía a una familia, encargada de transportar pasajeros y carga a través de Boston Harbor; después de la revolución en 1793 la población empezó a crecer generando la necesidad de un medio de transporte terrestre dando lugar a la aparición del ómnibus, el cual conectaba Boston con otras ciudades de Nueva Inglaterra y el cual fue remplazado en 1856, tras la aparición de los primeros carruajes tirados por caballos; esta actividad tuvo una gran acogida alcanzando una cantidad elevada de empresas dedicadas a este transporte, las cuales posteriormente se consolidaron como la West End Street Railway Company, con alrededor de 8000 caballos, pero eventualmente el cuidado que se requería para los animales se convirtió en un problema, lo que llevo a buscar nuevos medios alternativos.

En el transcurso del siglo XIX, se dieron cuenta que un cable de cobre instalado en la parte superior podía mover los carros en las pistas con grandes velocidades, dando lugar al teleférico, de igual forma en 1889 la compañía Railway Co. estaba experimentando con nueva tecnología de electrificación, iniciando el funcionamiento de la primera línea eléctrica, la cual hoy en día aún tiene una parte activa en funcionamiento de la Línea Verde del sistema integrado de MBTA. (BSML, 2017)

En 1800 el negocio de los ferrocarriles en los Estados Unidos estaba en el mayor auge con más de 29000 millas de vías construidas y Boston estaba a la vanguardia del crecimiento ferroviario, por lo que se convirtió en el centro ferroviario más concurrido y grande del mundo.

Después de iniciar con dos compañías con terminales de trenes separadas, en 1893 se crearon dos terminales centrales para realizar la conexión y así tener servicio hacia el norte y Sur de Boston.

En 1894 fue incorporada la compañía BERY (Boston Elevated Railway Company) la cual tenía entre su infraestructura 4 líneas elevadas y un túnel en funcionamiento, lo cual fue seguido con la aparición del término "EL" que consistió en la articulación de los trenes tomando dos vagones y uniéndolos en la mitad, facilitando el cruce en las calles y los giros en las vías.

En 1897 Las empresas encargadas de los ferrocarriles, eran empresas privadas, que recibían un subsidio del estado para su funcionamiento. Varias de ellas quebraron, dejando la infraestructura sin uso durante varios años, y luego estas vías fueron rehabilitadas, cuando las empresas restantes se empezaron a fusionar, dando origen a nuevas empresas como la MBTA (Massachusetts Bay Transportation Authority), encargada de gran parte del funcionamiento actual del tren en Boston. (SOUTH STATION BOSTON, 2017)

En 1947 MTA (Metropolitan Transit Authority inicio y absorbió a la compañía BERY. (BERY, 2017)

Durante los años 1850 y 1860 las vías tuvieron varios cambios y varias autopistas fueron construidas. El incremento vehicular aumento, pero el espacio de estacionamiento disminuyo, por lo que era necesario la creación de leyes y nueva infraestructura para efectuar nuevos métodos de transporte masivo. Esta tarea fue encomendada en 1964 a la MBTA (Massachusetts Bay Transportation Authority) la cual debía cumplir con implementar estrategias para la movilidad de 300.000 pasajeros diarios para el año 1970

En la actualidad MBTA trasporta 1.3 millones de pasajeros al día, cuenta con 155 rutas de autobús, 5 rutas de tranvías y 13 rutas ferroviarias de cercanías y más de 6000 empleados en el sistema. (BSML, 2017)

1.1.2 Bogotá

Desde 1855 Colombia contaba con su primer ferrocarril en el canal de Panamá, en 1869 se inicia la construcción del tramo comprendido entre Barranquilla y Sabanilla y Barranquilla Puerto Salgar en 1871, un año después se plantea la construcción de los tramos que comunicarían a Bogotá con Buenaventura y Tunja, y adicional el Ferrocarril de Cauca. Posteriormente en 1874 se dio inicio a la ruta que uniera Medellín con el Río Magdalena. Entre 1885 y 1927 Colombia tuvo su mayor momento en la construcción de vías férreas a nivel nacional entre las que se puede nombrar el ferrocarril de Santa Martha, Antioquia, Cartagena y el tren de la Sabana; estas vías en la actualidad aún se encuentran físicamente, pero su uso fue suspendido, dejando una gran inversión de tiempo y dinero en el olvido. (BANCO DE LA REPUBLICA, 2011)

Desde que iniciaron las construcciones de Ferrocarriles han tenido diversos cambios de tecnología y desarrollo que han permitido que su uso tenga continuidad. Al igual que Bogotá, en Boston existen vías férreas, que fueron suspendidas durante grandes periodos de tiempo, y luego fueron nuevamente habilitadas. Esto lleva a la pregunta de ¿cuáles son las posibles tecnologías que han implementado, para recuperar estas vías y continuar con el desarrollo férreo del país? (SOUTH STATION BOSTON, 2017)

1.2 Justificación

A través de las exposiciones recibidas por parte de la MBTA, se puede obtener información acerca de los procesos tanto administrativos como de infraestructura en el sistema de transporte masivo de Boston, creando espacio para un análisis de las principales características que podrían ser aplicadas en el medio Bogotano, principalmente, la utilización de los trenes y su posible

implementación al transporte masivo de la ciudad, proporcionando una mayor movilidad y un mayor flujo de pasajeros en el aérea metropolitana aprovechando las vías ya existentes.

La Ingeniería civil nos proporciona a nivel de vías y transporte, el estudio de la optimización en tiempos y flujos y la construcción de rutas para la optimización misma del tránsito, por lo que podemos aprovechar recursos existentes y aprender como otras ciudades han establecido normatividades e infraestructuras para favorecer el desplazamiento ciudadano.

1.3 Planteamiento y formulación del problema

La visita internacional brinda un conocimiento de aquellos avances tecnológicos y medidas que una ciudad como Boston ha tomado para que, en el transcurso de su historia férrea, este medio de transporte se fortalezca y pueda sobrepasar todos los obstáculos que se han presentado a través del tiempo, logrando que sea incorporado a la movilidad masiva. El tren de la sabana de Bogotá, implementando algunas de estas medidas, podría fortalecer su estructura y lograr mayor eficacia en la utilización de los productos que con los que ya contamos y mejorarlos de forma que se logre un despegue de este transporte masivo, se plantea el problema con la pregunta:

¿Qué innovaciones tecnológicas del sistema de transporte de pasajeros del área metropolitana de Boston pueden ser aplicadas en Bogotá?

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Determinar las innovaciones tecnológicas del sistema de transporte férreo de pasajeros en el área metropolitana de Boston y los aspectos para el desarrollo de infraestructura de un sistema de transporte férreo en Bogotá

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Recopilar información del desarrollo del sistema férreo en Bogotá y Boston.
- Identificar las innovaciones tecnológicas del sistema de transporte férreo de pasajeros en el área metropolitana de Boston
- Analizar las tecnologías aplicadas en Boston en el sistema de transporte masivo
- Identificar las posibles aplicaciones de tecnologías en un sistema de transporte férreo de pasajeros, según las condiciones propias de Bogotá.

1.5 Delimitación

1.5.1 Espacio

Boston

Se encuentra ubicado al nororiente de los Estados Unidos en el condado Suffolk County Massachusetts. Presenta clima frío y temperatura entre los 12 y -7° grados dependiendo de la época del año. Cuenta con una población promedio de 673.184 habitantes y es reconocido por su gran desarrollo cultural y por albergar reconocidas universidades como Harvard y MIT. (CENSUS, 2016)

Bogotá

Capital de Colombia, ubicada en la cordillera oriental. Tiene alrededor de 33 km de largo y 16 km de ancho. Con una altura de 2565 metros sobre el nivel del mar, clima moderadamente frío, temperatura promedio de 14°C. y con una población aproximada de 8.000.000 millones de habitantes. (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2017)

Tiempo

Para el desarrollo del proyecto se tendrá en cuenta las innovaciones tecnológicas presentes en el periodo comprendido entre 1997 a 2017

1.5.3 Alcance

Se realizará un informe donde se presentará el análisis de las tecnologías innovadoras encontradas en Boston, las cuales puedan ser una opción de aplicación en Bogotá, el cual puede avanzar hacia el desarrollo de una nueva etapa como proyecto, investigación u otro.

1.5.4 Limitaciones

Se realizará una primera observación mediante una visita a la ciudad de Boston y un primer acercamiento al contexto de la ciudad de Bogotá.

El proyecto se desarrolla en un tiempo de 4 meses con un desarrollo semanal de 8 horas diarias, lo que determinara la correspondencia con los resultados presentados.

No se aportará un plan de inversión, financiero, costos o ejecución de las innovaciones.

1.6 Marco de referencia

Los medios de transporte son muy importantes en el desarrollo cultural y económico de un país. Cuando hacemos un paralelo entre dos ciudades que tienen un medio de transporte en común, en este caso el tren, podemos analizar las diferencias y similitudes entre las administraciones que dan un panorama de aquellas cosas que han funcionado de forma adecuada y aquellas que no han resultado acertadas para evitar caer en ellas. De esta forma podemos lograr una transferencia tecnológica, para implementar medidas y avanzar en pro de un desarrollo urbano. (UAEM, 2017)

1.6.1 Marco teórico

En Estados Unidos el transporte público es una parte importante para enfrentar los desafíos energéticos, económicos y ambientales del país, por lo que cada familia y miembro de la comunidad se beneficia por el continuo de desarrollo de este, el cual tiene varios modos de funcionamiento entre los que se tienen:

- Buses
- Tren
- Subway o metro
- Trenes de cercanía
- Tranvías
- Teleféricos
- Servicio para transporte de personas mayores y personas con discapacidad
- Ferries y taxis acuáticos
- Monorrieles

Cada uno de estos modos debe estar fuertemente soportado y respaldado por la infraestructura necesaria, entre la cual encontramos, muelles, puertos, túneles, viaductos, autopistas, puentes, entre otras, sin las cuales sería imposible brindar un servicio eficiente a población. Por estas mismas estructuras el transporte público aporta ahorro en tiempo, combustible y disminuye la congestión vial y se pueden obtener resultados como los siguientes:

Los habitantes que viven en aéreas atendidas por transporte publico ahorran alrededor de 865 millones de horas en tiempo de viaje y 450 millones de galones de combustible al año y sin este sistema la congestión podría aumentar en 21 mil millones de dólares adicionales.

A nivel ambiental en los Estados Unidos el uso del transporte público ayuda a disminuir la huella de carbono generada en 37 millones de toneladas métricas anuales. (APTA , 2017)

En el caso del sistema ferroviario este se fundamenta en la dinámica del desplazamiento por medios mecánicos, eléctricos, electrónicos y de comunicaciones desarrollados con aplicaciones de la ciencia física matemática con una inversión económica que son gestionados y administrados por medio de técnicas y tecnologías para ofrecer el servicio de transporte de pasajeros.

Es un medio de transporte de mercancías y personas el cual requiere para su funcionamiento la construcción de una vía exclusiva para el tránsito del tren. Con el paso del tiempo han aparecido diversos tipos de trenes, desde los primeros impulsados por vapor, pasando por los de diésel y llegando a los de última tecnología como los eléctricos, que a su vez cada día son mejorados tecnológicamente para aumentar su capacidad y velocidad, aportando gran incremento en los niveles de eficacia en la movilidad. Es complementado con diferentes tipos de vías, las electrificadas, para trenes que funcionan con electricidad y las no electrificadas, para paso de trenes con funcionamiento de diésel.

En países donde hay una gran estructura vial, se pueden diferenciar tres tipos de vía, básicas, complementarias y secundarias. Las primeras unen ciudades importantes, las segundas unen el resto de las ciudades, y las terceras más usadas para carga unen por el exterior la red básica.

1.6.2 Marco histórico.

Figura 1: Red férrea en Estados Unidos



Fuente: Railplus (2017)

En 1900 se crearon nuevas rutas interurbanas y hacia el este de la ciudad, las primeras tomadas por la compañía Amtrak y la segunda por la MBTA.

Ha sido notorio el interés de las compañías ferroviarias de Boston por las últimas tecnologías, operando de esta manera en forma simultánea trenes a vapor, diésel y eléctricos.

El funcionamiento de estas líneas estaba a manos de empresas privadas que obtenían un subsidio del estado para su desarrollo. Lo que puede dar una idea de ello, porque había grandes inversiones y esfuerzos constantes para mantener y aumentar el desarrollo, ya que como indico Bill Reydi, miembro de la sociedad histórica y técnica de New Haven: “En el cambio de siglo, los ferrocarriles eran la única forma de moverse por tierra, por lo que era fácil construir un imperio” (SOUTH STATION BOSTON, 2017) (SAFE ROUTE TO SCHOOL, 2017)

En la actualidad China gano un contrato para la elaboración de vagones de tren para aumentar la capacidad de transporte y cambiar varias de las líneas que tienen entre 32 y 44 años de antigüedad. (TENDENCIAS FERROVIARIAS, 2017)

Figura 2 Red férrea en Boston

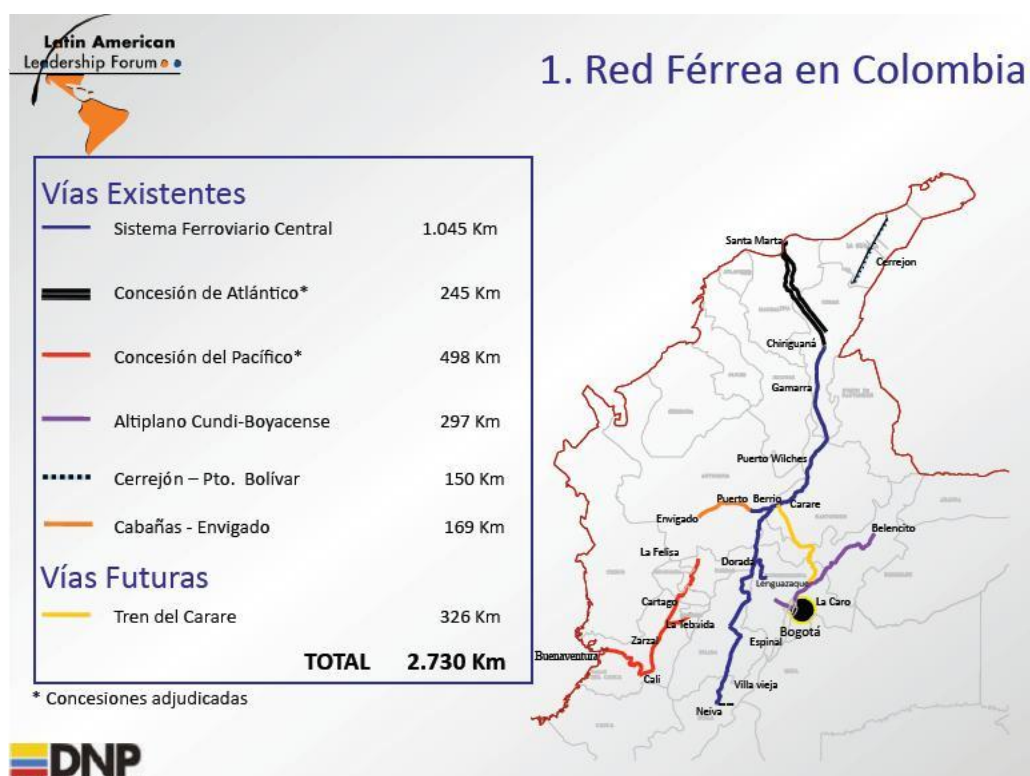


Fuente: LIGTHRAILNOW (2017)

El origen del ferrocarril en Colombia se remonta a los años 1800, y su principal función, era la conexión entre los grandes centros de distribución y el sistema fluvial. Entre 1885 y 1927 se realizaron los grandes avances ferroviarios en Colombia, con la

construcción de las líneas de Buenaventura, Puerto Berrio, Santa Marta, Barranquilla y Sabana de Bogotá. La red ferroviaria consta de 3468 km de los cuales 1991 están concesionados, 1327 km están a cargo del instituto nacional de vías (INVIAS) y 150 km pertenecen a la red privada del cerrejón. Esta red cuenta con un ancho vial 914 mm. (BANCO DE LA REPUBLICA, 2011)

Figura 3 Red férrea en Colombia



Fuente: (LA OTRA OPINION, noviembre 2017)

En la ciudad de Bogotá la aparición del ferrocarril no solo marco una diferencia en este ámbito, sino que el trazo de las rutas y la nueva tecnología tuvo impacto social y cultural por la modernización que se estaba haciendo evidente. (UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2017)

En el 2011 se encontraba en desarrollo la entrega de un tramo de 262 km de vía férrea conectando Bogotá con Boyacá, con el fin de utilizarlo, no solo a nivel de transporte de carga, sino compartir los corredores con transporte de pasajeros. (BANCO DE LA REPUBLICA, 2011)

Figura 4. Red férrea en Bogotá



Fuente: tourisvirtual (2017)

El ferrocarril en Estados Unidos inicio hacia los años 1800 y 60 años más tarde tuvo el mayor momento de crecimiento. Boston encabezó este crecimiento lo que la llevo a convertirse en el centro ferroviario más grande y concurrido del mundo.

El crecimiento acelerado de las vías férreas, llevo a la necesidad de crear estaciones para resguardarlas.

Estas vías eran usadas para el transporte de pasajeros principalmente, pero presentaban un inconveniente, al ser vías independientes unas con otras, los problemas de movilidad se empezaron a presentar al momento del transbordo de los pasajeros, lo que llevo a pensar en nuevas estrategias para unificar las rutas, creando y unificando una ruta hacia el norte metropolitano y una hacia el sur.

1.6.3 Marco legal

No existe en Colombia una ley que regule este sector: la normatividad ferroviaria del país está compuesta por un grupo de leyes o normativas independientes, que han surgido como respuesta a situaciones concretas que requerían de algún tipo de control. (MINISTERIO DE TRASPORTE, s.f.)

Entre las leyes que se relacionan de alguna forma con el tema ferroviario se citaran las siguientes.

LEY 76 DE 1920 • Autoridad: Congreso de la República • Fecha de Expedición: 15 de noviembre de 1920 • Epígrafe: “Sobre policía de ferrocarriles” • Materia: CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO, SEGURIDAD, ORGANIZACIÓN Y CONTROL • Estado: Vigente, con algunas actualizaciones de articulado realizadas en los años 1953, 1962, 2002 y 2010.

LEY 146 DE 1963 • Autoridad: Congreso de la República • Fecha de Expedición: 13 de diciembre de 1963 • Epígrafe: “Por la cual se ordena a la Nación, Departamentos y Ferrocarriles Nacionales, la construcción de unas obras y se reglamenta la futura construcción de carreteras y líneas férreas” • Materia: CONSTRUCCIÓN. • Estado: Vigente, con algunas actualizaciones de articulado realizadas en el año 1993.

LEY 30 DE 1982 • Autoridad: Congreso de la República • Fecha de expedición: abril 6 de 1982 • Epígrafe: “Por la cual se modifica la Ley 64 de 1967.” • Materia: ORGANIZACIÓN • Estado: Vigente e.

LEY 21 DE 1988 • Autoridad: Congreso de la República • Fecha de Expedición: 2 de febrero de 1989 • Epígrafe: “Por la cual se adopta el programa de recuperación del servicio público de transporte ferroviario nacional, se provee a su financiación y se dictan otras disposiciones.” • Materia: ORGANIZACIÓN • Estado: Vigente. En estados unidos ley 110-432 Ley de Mejoras de Seguridad Ferroviaria oct 16 de 2008

En estados unidos la Administración Federal de ferrocarriles, regula y promueve la seguridad en la industria ferroviaria de la nación y se cita las leyes principales para el funcionamiento de los ferrocarriles. (FEDERAL RAILROAD ADMINISTRATION, 2017)

1.6.4 Estado del arte

Existen escritos históricos sobre el ferrocarril en los dos sitios de estudio, y algunos estudios relacionados con la normatividad o la compilación de información sobre los acontecimientos cronológicos del proceso evolutivo en las vías férreas y ferrocarril.

En la actualidad se piensan en alternativas para la recuperación de las vías férreas, como lo es el Regiotram, el cual consiste en un sistema ferroviario que a su vez funcionaria como tranvía. La propuesta consiste en unir zonas aledañas como Fontibón, Mosquera, Facatativá y Soacha con Bogotá, para descongestionar la calle 13 y autopista sur. Esta alternativa funcionaria con 23 trenes con capacidad de 447 pasajeros limitando los viajes a promedios de 50 minutos.

Figura 5 *Red férrea en Bogotá*



Fuente: (PORTAFOLIO, 2017)

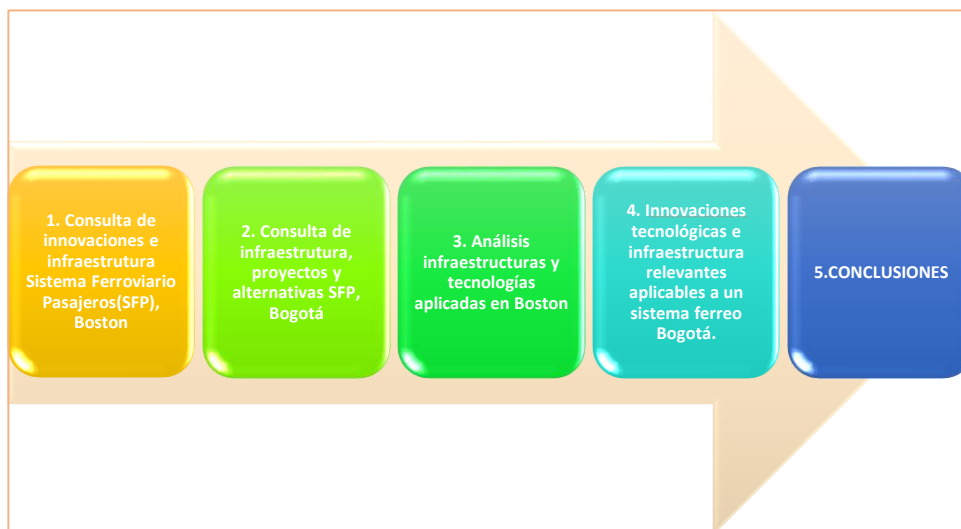
Por otro lado, en Antioquia se está trabajando en la estructuración de 80 km de sistema férreo mediante locomotoras amigables para el ambiente y el cual está proyectado para la habilitación del corredor para el año 2019

No se ha encontrado hasta el momento información que determine el paralelismo comparativo o de análisis de dos fuentes y su posible aplicación o retroalimentación para el beneficio específico de la zona estudiada. (EL TIEMPO, 2017)

1.7 Metodología

Se realizará una exploración de referentes del sistema de transporte férreo en Boston mediante visita técnica, donde se encontrará información para su posterior análisis, dando como resultado el desarrollo, solución y síntesis de la pregunta propuesta. La siguiente secuencia de pasos, garantizan la finalidad del trabajo propuesto.

1. Consulta de fuentes, Innovaciones e infraestructura Sistema Ferroviario Pasajeros (SFP), Boston.
2. Consulta de fuentes, Proyectos y alternativas de SFP, Bogotá.
3. Análisis de las innovaciones y tecnologías aplicadas en Boston.
4. Innovaciones tecnológicas e infraestructura relevantes aplicables a un sistema férreo en Bogotá.
5. Conclusiones

Figura 6 Metodología

Fuente: Autora

1. Consulta de fuentes, Innovaciones Sistema Ferroviario Pasajeros (SFP), Boston.

La recopilación de información se realizó en la ciudad de Boston, mediante visitas a la empresa Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) asociada directamente al desarrollo ferroviario y de transporte masivo de la ciudad y charlas informativas realizadas por dicha empresa.

2. Consulta de fuentes, Proyectos y alternativas de SFP, Bogotá.

Se realizó búsqueda de libros, artículos, noticias sobre el desarrollo del tren en Colombia y su actual situación y alternativas vigentes de mejoramiento

3. Análisis de las innovaciones y tecnologías aplicadas en Boston.

Se reunieron datos relevantes específicos de las tecnologías aplicadas por Boston en su sistema ferroviario.

3. Innovaciones tecnológicas más relevantes posibles de aplicar en Bogotá.

Se realizó propuesta de las tecnologías encontradas mediante el estudio realizado en Boston.

4. Conclusiones

Presentación de la síntesis del trabajo realizado, mediante monografía y ponencia final

2. Innovaciones tecnológicas del sistema de transporte férreo de pasajeros en el área metropolitana de Boston y aspectos para el desarrollo de infraestructura de un sistema de transporte férreo en Bogotá

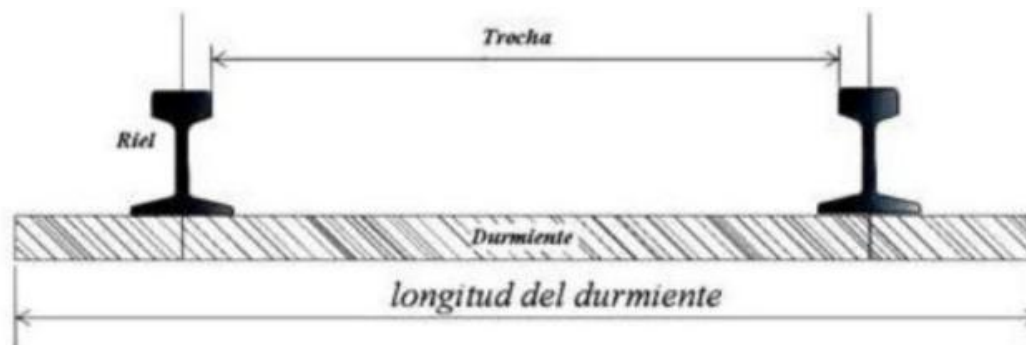
2.1. Contexto Colombia, Bogotá

En Colombia a parte del transporte de carbón, el resto de las operaciones ferroviarias cesaron. Actualmente el país está ubicado en el puesto 104 de 138 países a nivel férreo, a pesar de que fue uno de los primeros países de América Latina de haber construido líneas férreas para la movilidad de personas y carga.

Actualmente en los 4 corredores férreos que existe, se adelantan obras para aumentar la calidad como medio de transporte.

A través de los años, se ha buscado en Colombia restablecer las vías férreas y mejorar el transporte tanto a nivel carga y pasajeros, siendo dichas vías, una opción viable para su implementación, pero así mismo los inconvenientes no se hacen esperar, al contemplar que el uso de las vías férreas no conciernen a una sola entidad y por ser patrimonio cultural se dificulta su apertura.

En el contexto funcional, las vías a nivel mundial tienen una infraestructura vial que contienen rieles con un espaciamiento de 1435 mm y el riel colombiano, por ser de los primeros a nivel Latinoamérica, y por la geografía propia colombiana tiene unas dimensiones de 980 mm, medida de menor tamaño que el riel estándar, por lo que sugiere un cambio de rieles para su adecuación.

Figura 7.Trocha Férrea

Fuente: (ISSUU, 2018)

El sistema Ferroviario en Colombia fue construido, como una concesión privada a finales del siglo XIX respondiendo a las necesidades propias de la época, y en el siglo XX ya tenían alrededor de 3300 km construidos, donde actualmente solo el 50% de la red ferroviaria está activa y puede ser rehabilitada.

Anteriormente el sistema ferroviario en Colombia era representativo para el transporte de carga y pasajeros, siendo uno de los primeros a nivel latinoamericano.

En el 2013 el sistema férreo colombiano transporto 76 millones de toneladas de carga equivalente al 25% de carga nacional de los cuales solo 97.000 toneladas fueron productos diferentes al carbón, por esta razón el ferrocarril es de mayor importancia en Colombia ubicado entre el cerrejón y puerto Bolívar.

Existen varias vías férreas a lo largo del territorio, de las cuales solo un pequeño porcentaje está en funcionamiento, entre ellas la vía de la sabana de Bogotá, que comunica la parte norte de la ciudad con Zipaquirá a manera turística. Y algunas vías en el cerrejón y parte norte de Colombia destinadas en 99% al uso minero. (REVISTA DINERO, 2016)

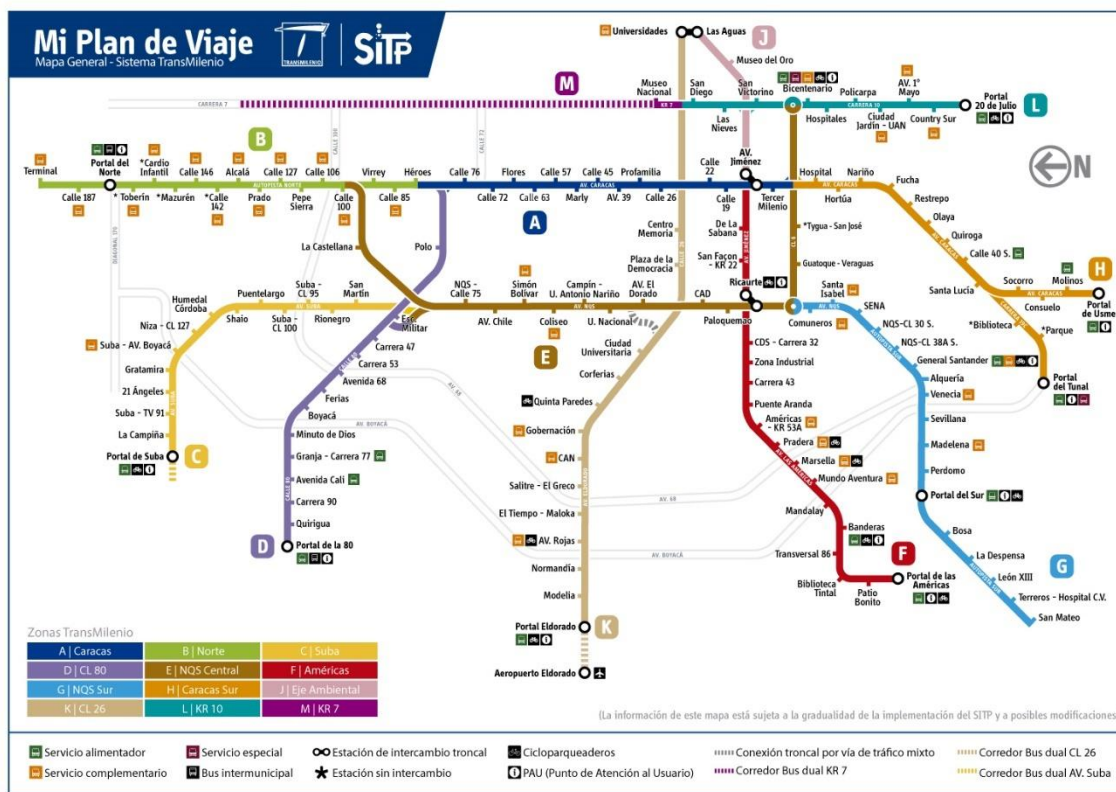
La red férrea actual se distingue por la zona atlántica, conformada por Santa Marta-Bogotá y sus ramales y en la zona del pacifico, que incluye Buenaventura, Cali, Tebaida y entre otros. (MINTRANSPORTE, 2018) (DINERO, 2018) (PORTAFOLIO, 2018)

2.2 Actualidad movilidad Bogotá

La movilidad actual de la ciudad está representada principalmente por el sistema integrado de transporte Transmilenio, que tiene su operación a nivel interno de la ciudad conectando localidades y barrios en ella, y en menor grado y de uso mayormente turístico, el tren de la sabana de Bogotá el cual transporta pasajeros a lo largo de la extensión de su línea, conectando con algunas zonas aledaña de la ciudad como Zipaquirá y Cajicá. Entre estos pasajeros se encuentran los estudiantes de la universidad de la Sabana, la cual tiene contrato con Turistren para brindar el servicio a los estudiantes del Campus. (Universidad de la Sabana, 2018)

Según la alcaldía de Bogotá actualmente implementa el sistema integrado de transporte público (SIPT), articulando con el transporte intermunicipal con la planeación de mitigar la demanda de transporte y fomentando al no motorizado para ayudar a la contaminación.

Figura 8. Red Transmilenio.



Fuente: (SITP, 2018)

Permite que el sector público, privado favorezca una innovación en el desarrollo de la movilidad, ofreciendo una nueva estrategia para el consumidor u usuario que agiliza el tiempo de recorrido mejorando la condición humana o escala mundial.

Por esta razón la estructuración del diseño se contempló de manera gradual, evitando traumatismo y malestar en los usuarios con la adecuación de las fases de Transmilenio logrando como medio de pago la tarjeta tu llave.

Los aspectos operacionales del sistema se definieron a partir de los estudios de técnicos, legales y financieros donde se estableció la jerarquía, y priorización de los corredores por donde circulaban las rutas con mayores demandas de pasajeros. Por esta razón, se establecieron cinco tipos de rutas así:

Rutas troncales: será el eje de la estructura del sistema recorre largas distancias, atiende demandas altas y serán satisfechas por buses articulados (160 pasajeros) y biarticulados (250 pasajeros).

Rutas urbanas: estas apoyan a las rutas troncales, funcionan en corredores de demandas medias, transportan y distribuyen la demanda. El servicio se presta en buses padrón (80 pasajeros), bus (50 pasajeros), buseta (40 pasajeros).

Figura 9. Buses SITP



Fuente: (SITP, 2018)

Rutas alimentadoras: sirven de alimentación de las troncales, permiten acercar a los usuarios desde los barrios a los portales, estaciones intermedias y estaciones sencillas. El servicio es prestado generalmente en buses padrones (80 pasajeros) y la operación se realiza en tráfico mixto y no tiene ningún costo para el usuario.

Rutas complementarias: permite movilizarse desde y hacia las zonas aledañas, sirven de complementarias a las rutas troncales en estaciones intermedias. El servicio es prestado generalmente en buses padrones (80 pasajeros), el cobro se realiza en el bus a través de tarjeta tu llave y la operación se realiza en tráfico mixto.

Rutas especiales: estas atienden áreas de difícil acceso (cerros) o de muy baja demanda, el servicio se presta mediante buses especiales o microbuses. El cobro se realiza en el bus a través de tarjeta tu llave y la operación se realiza en tráfico mixto, generalmente en vías locales.

Figura 10. Modalidades Sistema integrado Transporte



Fuente: (METRO EN BOGOTA, 2018)

2.2.1 Sistema férreo Bogotá

Llamado como el tren de la Sabana, ubicado en Bogotá, donde presto el servicio de transporte ferroviario desde 1889 entre poblaciones del área metropolitana; liquidado en 1991 junto con Ferrocarriles Nacionales de Colombia, y entre 1992 a 2007 el tren funciono como turístico con la administración de la Empresa Colombiana de Vías Férreas.

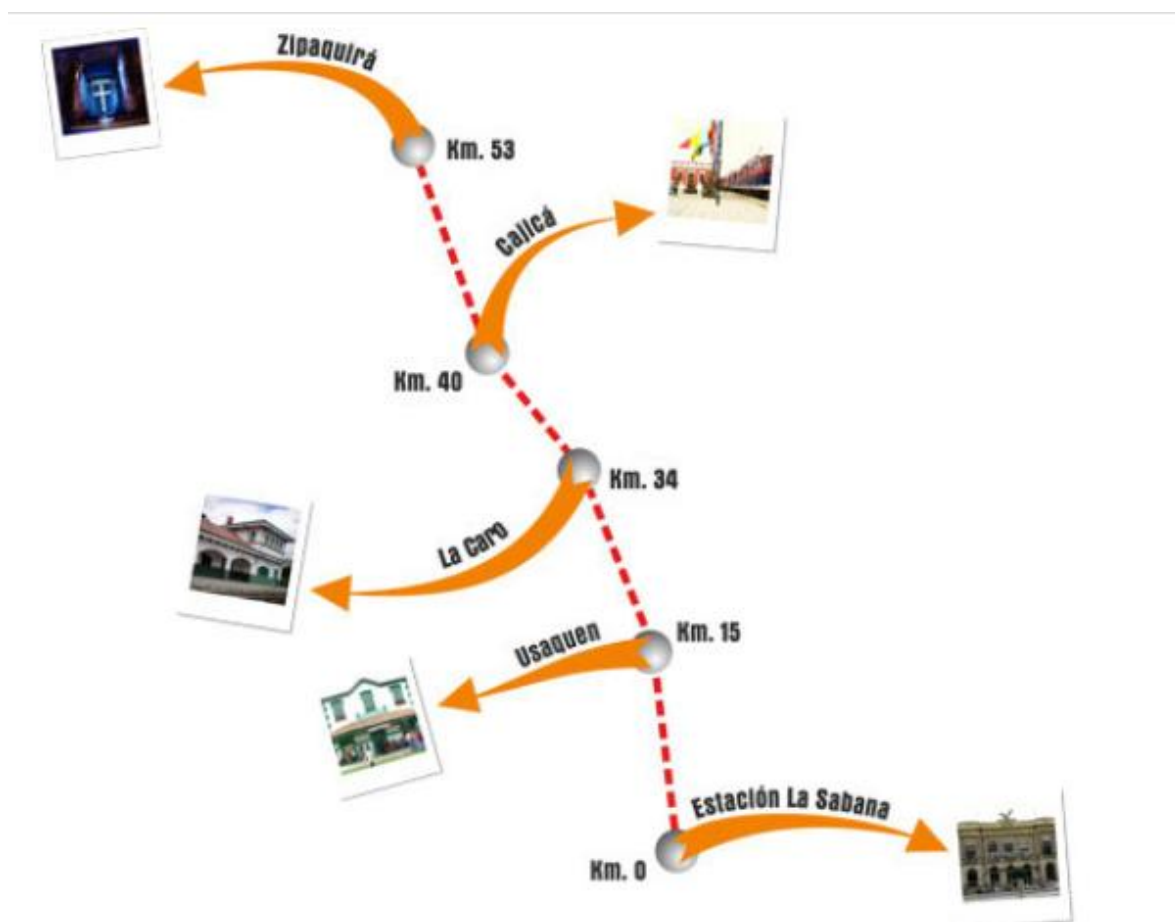
A partir del 2004 la empresa Turistren se encargó del transporte turístico o llamado medio de transporte público intermunicipal, cuando la vía férrea Bogotá-Zipaquirá (Nordeste) fue reparada por el gobierno nacional, de igual manera empezó a funcionar el transporte de carga.

Actualmente el tren se ha convertido en movilidad estudiantil y turista, trasladándose del occidente al norte de Bogotá, la ANI hizo el estudio de movilización de personas y alcanzo a los 456.826 usuarios en el año 2017.

Lo anterior hace que la infraestructura como corredor siga habilitada, por esto se realiza mantenimiento y control de tráfico, siendo un corredor férreo de Bogotá-Belencito, esta recuperación de vía férrea en su infraestructura desde el 2013 ha sido de 207 mil millones de pesos, esto conlleva a movilizar de nuevo carga.

Por la recuperación de la vía férrea el estudiante se está ahorrando entre una hora u hora y media de recorrido, ya que no está expuesto al tráfico terrestre en Bogotá, según el ANI. (ANI, 2018)

Figura 11. Ruta tren de la sabana.



Fuente: (Turistren, 2018)

2.2.2 Planes y mejoras en STFP Bogotá.

En la ciudad de Bogotá existen varios proyectos de alianza público-privada para la mejora de la movilidad, ya que se ha demostrado los cambios fuertes de lluvias o articulados varados pueden paralizar una gran parte de la ciudad.

Alrededor de 12 proyectos se encuentran en estudio para su aprobación, entre los cuales se encuentra el tren eléctrico que iniciaría en Facatativá y terminaría en la Estación de la Sabana, el cual ha sido una alternativa desde el año 2010, pero que hasta hace poco fue firmado el acuerdo

entre el Departamento Nacional de Planeación, junto con la Alcaldía Mayor y la Gobernación, para su desarrollo y su articulación con el metro y el Transmilenio.

Con este proyecto se busca aliviar las cargas de tráfico del occidente y norte de la ciudad, y planea que una de las estaciones este ubicada en el nuevo aeropuerto El Dorado, en inmediaciones al municipio de Madrid, Cundinamarca. “Por eso tenemos afán, porque es muy difícil abrir la licitación del segundo aeropuerto sin contar con esta importante conexión”, dijo la ANI. En otras palabras, sin ese tren y estación será difícil o casi imposible sacar adelante el nuevo aeropuerto de Bogotá, pues no tendrían los viajeros cómo llegar en poco tiempo a esa terminal. (DINERO, 2016)

Para el desarrollo de la ciudad, el Distrito quiere utilizar los corredores de ferrocarril para poner buses eléctricos o troncales de Transmilenio, realizando un corredor vial desde Soacha hasta el municipio de Chía, a lo cual Invías aclara que por ser bienes públicos no pueden ser vendidos, ni se pueden hacer obras en ellos.

La visión de hacer una Bogotá con mayor capacidad de albergue poblacional, mejores niveles de vida, se tiene como componente principal el mejoramiento del sistema masivo de transporte de pasajeros, esto con obras de movilidad para pretender mejorar la eficiencia, productividad y vida cotidiana de los ciudadanos.

Para esto se tienen dos grandes proyectos de infraestructura el metro, el cual entraría en vigor desde el año 2024 y el Regio-tram que se encargara de unir Bogotá con la Sabana Occidental y el cual iniciaría operaciones en el 2021. Se les ha dado importancia a estos proyectos, ya que se tiene en la mira convertir a Bogotá en una ciudad que se pueda beneficiar del turismo para el año 2030, por el incremento del 9 % anual de pasajeros extranjeros por la vía aérea, y así utilizado como articulador de movilidad de los turistas, antes de que pasen a otras zonas del país, por lo cual

se requieren medios de transporte efectivos y confortables para la población. (LR ESPECIALES, 2018) (SEMANA, 2018)

Metro

Desde el año 1942 se ha tocado el tema del metro para Bogotá, pero su realización no ha sido posible debido a la imposibilidad de financiar este medio de transporte.

El 17 de septiembre de 2017, el presidente actual y alcalde actual han dado la primera aprobación para la construcción del metro el cual contara con las mejores características aplicables a la sabana y topografía de Bogotá. Se plantea la construcción de un metro elevado para disminuir costos de estructura subterránea, con una velocidad promedio de 40 km/h con una capacidad de transporte de 990.000 pasajeros/día. Con un tiempo de construcción de 26 meses aproximadamente. La topología de la ciudad en el subsuelo es de poca compacidad y consistencia y alto grado de humedad, por lo cual se requiere un sistema de bombeo y drenaje. Adicional las redes de servicios públicos subterráneos no tienen un esquema conocido por lo cual se podrían generar mayores daños.

El desarrollo de la misma ira dividido en tres fases.

1. Portal américas hasta avenida caracas, pasando por la avenida primera de mayo.
2. A lo largo de la avenida caracas hasta la calle 72.
3. Extensión hasta la calle 127

Las fases 1 y 2 tendrán 25 km con 15 estaciones de las cuales 10 son con intercambio con Transmilenio. Separadas aproximadamente 1.4 km (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2018)

Estas rutas fueron seleccionadas debida a las características propias de la vía en cuanto amplitud y demanda de usuario correspondientes. Para el acceso a estas rutas se implementaras rutas alimentadoras para aumentar el uso por los habitantes de zonas lejanas. (DINERO, 2016)

Figura 12. Diseño proyectado metro de Bogotá



Fuente: (METRO EN BOGOTA, 2018)

Las rutas alimentadoras harán parte de la avenida 68m, Avenida Boyacá y Avenida Ciudad de Cali.

El sistema trabajara bajo sistema de eficiencia energética y medioambiental, por lo cual operara con ventilación y luz natural. Los trenes tendrán funcionamiento del 100% eléctrico con energías limpias. Lo que disminuye el impacto ambiental y reduce los costos de operación.

La infraestructura consistente en un viaducto cumplirá con la normatividad sismo resistente, a una altura entre 7 y 12 metros con inclusiones de elementos prefabricados donde sea de viable utilización. (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2018)

Cada estación contara con ciclo rutas y Bici parqueaderos, 20 trenes, 140 metros de largo cada tren entre 6 y 7 vagones, con una capacidad por tren de 1800 pasajeros y frecuencia de cada

3 minutos entre trenes. Traslado de redes públicas que puedan interferir o demorar la construcción.
(ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2017)

Figura 13. Plano Metro. Primera fase



Fuente: (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2017)

Regiotram

Otro proyecto en proceso de aprobación es Regiotram, en el cual se quiere unir a Bogotá con los municipios de la sabana, pero hasta ahora no se ha considerado como prioridad para el desarrollo de Cundinamarca.

Figura 14. Red Férrea Bogotá.



Fuente: (IGAC, 2018)

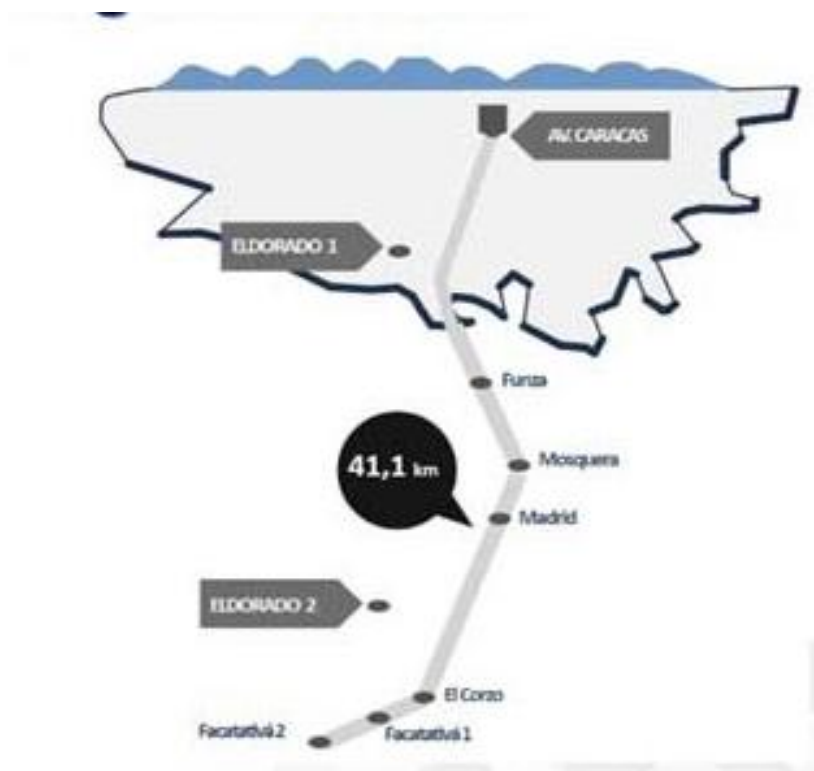
Esto pretende conectar la sabana de Occidente Facativá, Mosquera, Funza y Madrid con el centro de Bogotá mediante la construcción del Regiotram, el cual disminuirá el tiempo de recorrido, aproximadamente a la mitad del habitual. Este consiste en operación de sistema ferroviario o tranvía, que permite hacer viajes en tren eléctrico desde las afueras de la ciudad a la parte interna sin necesidad de realizar transbordos.

Contará con 15 km dentro de la ciudad de Bogotá y 26 km a las afueras de la ciudad, tendrá pasos a desnivel en las vías principales como la NQS 30, av. 68, Américas, Boyacá, av. Ciudad de

Cali y carrera 100; alrededor de 17 estaciones entre las cuales se encuentra como principal la encontrada entre faca y Madrid, ya que esta se unirá al aeropuerto el dorado, teniendo conexión con el Transmilenio y Metro para completar el sistema de Transporte masivo en Bogotá. (SEMANA, 2017)

Con la posibilidad de transportar 125.690 personas diariamente, 6 estaciones suburbanas, 11 estaciones urbanas y 41 km de longitud, esta propuesta tiene gran acogida para su desarrollo. (PORTAFOLIO, 2017)

Figura 15. Red proyectada Regiotram



Fuente: (SOACHA ILUSTRADA, s.f.)

2.2.3 Tecnologías vigentes en Bogotá.

Combustible

El combustible utilizado en la red existente de Transmilenio es el gas y Diesel, ambos combustibles que disminuyen el rango de contaminación en aproximadamente 80% con respecto a los combustibles a base de gasolina. (EL TIEMPO, 2000)

Por otra parte los trenes que se poseen en la red férrea colombiana, si bien son operados a través de vapor y Diesel, son maquinarias provenientes de los años 50, lo que hace que estén desactualizadas, lo que lo ha llevado a disminuir cada vez más su capacidad de competencia mundialmente, adicional el ancho de trocha manejado, no es el ancho estándar, lo que dificultaría importar trenes, ya que las vías no sería las adecuadas para su implementación. (DINERO, 2017)

Locomotoras a Vapor

La empresa Turistren compro las locomotoras que estaban abandonadas en los talleres del ferrocarril, para inicial su restauración y posterior puesta en funcionamiento.

Este tipo de vehículo funciona al ser impulsado por vapor de agua y fue la principal forma de tracción de los ferrocarriles. Estas se clasifican como locomotoras simples y de doble expansión. En el tipo simple, existe perdida de vapores de baja presión. En la segunda se desarrolló una tecnología de dos cilindros, donde uno se encargaba de los vapores de naja presión, y el otro, los de alta presión. Luego esta tecnología empezó a remplazarse por las locomotoras Diesel. (ECURED, 2017) (TURISTREN, 2018)

Figura 16. Locomotoras a vapor



Fuente: (TURISTREN, 2018)

Locomotoras Diesel

Tienen un motor de combustión interno que genera el movimiento. El Diesel al contrario que la gasolina es utilizado para movimiento de aplicaciones pesadas. La ventaja de este sistema frente al de vapor es el rendimiento del motor y el aprovechamiento eléctrico. Las locomotoras de vapor tienen un rendimiento entre 6 y 8% y la Diesel un rendimiento del 30% de energía consumida transformada a movimiento. Son de funcionamiento limpio, económico y potente.

Figura 17. Locomotora Diésel Turistren



Fuente: (Turistren, 2018)

En Bogotá existen 5 locomotoras de vapor y dos Diesel funcionando en perfecto estado.

2.3 experiencia y contexto Boston

Boston es una ciudad ubicada en el distrito de en Estados Unidos de América, cuenta con una población de 673.184 habitantes y una extensión de 232,14 km². Al ser una ciudad catalogada como una de las ciudades más importantes de Estados Unidos, debido a su aporte a la economía proveniente de sus prestigiosas universidades, como lo son Harvard, Cambridge y MIT, centros de investigación, empresas de alta tecnología y biotecnología, y un puerto, por lo que más de 12 millones de turistas al año ingresan a la ciudad; (metrópoli quizás) al poseer un porcentaje de

población universitaria de un 40% y residente en un XX% requiere de un sistema de transporte eficiente y accesible que cumpla con la alta demanda diaria de pasajeros. (VIAJES, 2018) (ECURED, 20018)

Figura 18. Mapa ubicación Boston



Fuente: (Turismo EEUU, s.f.) (TURISMO, s.f.)

Figura 19. Panorama ciudad Boston.



Fuente: (ECURED, s.f.)

La visita y experiencia en la ciudad de Boston, Massachussets realizada en noviembre 2017, fue muy estimulante y enriquecedora en cuanto al tema de investigación ya que esta ciudad es pionera no solo en educación sino a nivel de tránsito y movilidad ya que el primer metro de

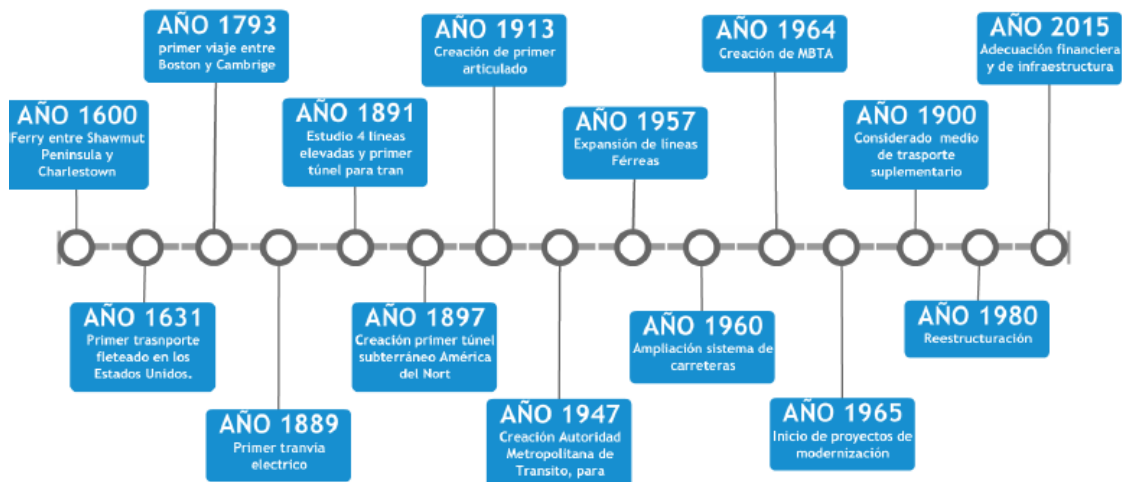
estados unidos inicio aquí y con su sistema integrado de transporte se ha vuelto una ciudad de ejemplo mundial en movilidad, posicionándose entre las 4 mejores medios de transporte a nivel mundial (introducir fuentes y datos de este hecho), siendo un caso de referencia para el caso Bogotá. (EL PLANETA, s.f.)

La ciudad de Boston cuenta con un sistema de transporte que contempla diferentes modalidades para larga, media y corta distancia que incluye Metro, tren de cercanías, buses, Ferries, (fuente). A su vez, existe la adecuada infraestructura como puentes elevados, túneles, vías férreas, entre otros; donde se ve la movilidad de trenes, metros, buses, ferris, y que son los encargados de movilizar a la población a lo largo de la ciudad y a los suburbios correspondientes.

El sistema de transporta en Boston es administrado por la empresa MBTA (Massachussets Bay Transportation Authority) encargadas de la movilidad de carga y pasajeros, auditadas a su vez por la FTA (Federal Transit Administration) (fuente) encargada de administrar y desarrollar los procesos de mejoras y velar por el buen funcionamiento del sistema integrado de transporte en Boston. (FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION, 2018)

Para fines de esta investigación, se profundizará en el sistema de transporte de pasajeros en Boston para ser una comparativa con el sistema de transporte de pasajeros existente en Bogotá, Colombia y finalmente hacer propuesta de los aportes y transferencias que se sugieren para el caso Bogotá. Como punto de partida de este análisis se mencionan a continuación las visitas y charlas realizadas por la **MBTA (Massachusetts Boston Authority Transportation)** para entender mejor el funcionamiento y coordinación del sistema férreo de Boston, en las cuales se abordaron temas como logística vial, infraestructura, innovaciones, mantenimientos y procesos de mejoras.

Figura 20. Línea cronológica acontecimientos Boston



Fuente: Autora

2.3.1 Visita 1

La primera visita fue realizada en las instalaciones del **MBTA** y dirigida por el gerente de mando del sistema, Mark <insertar apellido>, quien dio a conocer el funcionamiento y desarrollo del sistema y de las diferentes logísticas realizadas tanto a nivel operativo como administrativo. Todo el sistema férreo de Boston está compuesto por 4 líneas férreas que cubren 175 rutas y 101.5 km de extensión y cobertura en la ciudad y es básicamente utilizado para el transporte de pasajeros y carga. (MBTA, 2017)

Este sistema esta monitoreado por paneles y pantallas independientes para cada línea, donde se tiene información de salidas y llegadas de los trenes, la interconexión entre ellos y los tiempos de operación.

A pesar de que varias de las líneas de tren estuvieron suspendidas por muchos años, este medio de transporte se fortaleció debido a la demanda y particular gusto de la gente por este servicio, lo que llevo a la habilitación y mejora de las rutas existentes y apertura de nuevas.

Figura 21. Visita 1.



Fuente: (PROPIO, 2017)

Según Mark la eficiencia del sistema se debe a que es de fácil y básico funcionamiento.

2.3.2 Conversación 1

La Conversación tuvo lugar en las instalaciones de BSML (Boston School Massachusetts Languages, donde se expuso en la primera sesión lo relacionado con la logística y procesos del transporte y en la segunda sesión, se abordaron temas de infraestructura vial y la conexión entre las diferentes partes que lo componen.

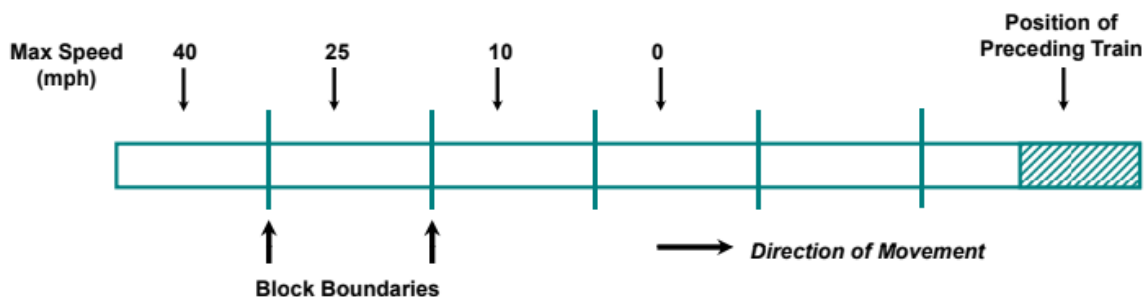
En la charla se pudo evidenciar el funcionamiento del sistema multimodal de transportes en Boston, donde el sistema de trenes se comunica con el sistema de buses en las centrales de los trenes, permitiendo un flujo de pasajeros de un sistema a otro sin romper los flujos en la ciudad. Además, la infraestructura cuenta con monitoreo y sistemas de aviso mediante los cuales se puede

ver la proximidad de un bus con pasajeros, para retrasar el avance del tren, siempre estando en los tiempos adecuados.

Ya que la infraestructura cuenta con largo recorridos entre estación y estación, los tiempos de los trenes son sincronizados mediante tiempos de llegada a cada estación, entre el arranque de un tren y el otro debe haber una estación intermedia de espacio, para que las velocidades y algún tipo de retraso momentáneo no genere un accidente.

Los trayectos están divididos por bloques, donde la velocidad de recorrido estará determinada por la geometría de la ruta y la ubicación del tren precedente, donde quedará una estación intermedia entre los trenes.

Figura 22. Diagrama para distribución de velocidad.

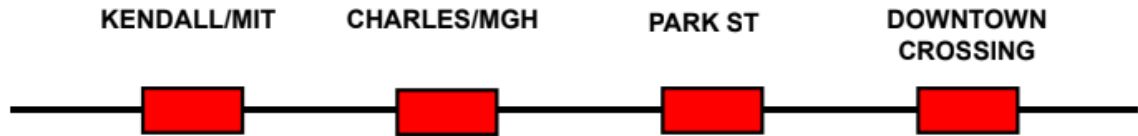


Fuente: (MBTA, 2017)

En el siguiente grafico se observa 4 estaciones consecuentes en la línea roja del metro, para ejemplificar los tiempos de tránsito de un tren en una vía.

Figura 23. Segmento 4 vagones línea roja MBTA

MBTA Red Line southbound



Fuente: (MBTA, 2017)

tomando como referencia la estación Park St y Downtown Crossin el tiempo mínimo entre dos trenes se determinará así:

Tiempo de acercamiento + Tiempo de espera en la estación Park St + Tiempo de marcha Park = Tiempo de espera en Downtown Crossin + Tiempo de salida.

Un tren no puede ingresar a la estación Park St hasta que el tren precedente no haya salido de la estación Downtown Crossin, dando como resultados tiempo promedio de 3 minutos de diferencia mínima entre los trenes.

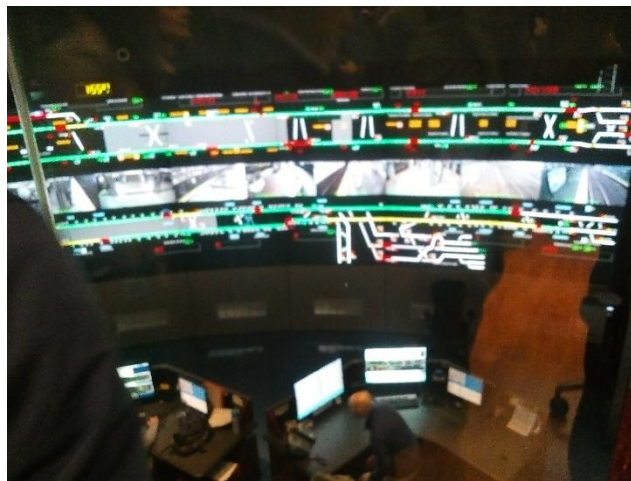
Los operadores logísticos se encargan de avisar al tren cuando es seguro para los pasajeros el cierre de puertas y puesta en marcha del sistema. (MBTA, 2017)

2.3.1 Observación de campo

Para evidenciar los avances y el funcionamiento del sistema férreo de pasajeros en Boston expuestos anteriormente se realizaron visitas y recorridos en el sistema pudiendo resaltar los siguientes hechos:

Flujo eficiente de trenes y frecuencia de viajes: Al interactuar con el sistema se puede observar que existe un orden establecido para el funcionamiento de cada parte, la sincronización de los tiempos de frecuencia de cada vehículo o tren dando cumplimiento a estos, por la forma de monitoreo desde la central, por esta razón los usuarios pueden observar desde las aplicaciones, folletos impresos y así poder planificar su viaje.

Figura 24. Tablero de control instalaciones MBTA



Fuente: Autora

Accesibilidad y sistema de seguridad: Los vehículos y trenes están dotados de sistemas de seguridad de cámara, tienen acceso para personas discapacitadas con un ingreso al transporte por medio de una tarjeta digital previamente cargada.

Figura 25. Centro de monitoreo MBTA.



Fuente: (PROPIO, 2017)

Dotación de equipamientos y flujo de pasajeros: A nivel de infraestructura, en el caso subterráneo, los túneles presentan una amplia zona de espera de pasajeros, con paraderos y sillas internos para la espera del abordaje, así como también paneles de índice de tiempos de llegada. Para abordar a ellos, se puede tener un ingreso general que incluye ambos trayectos ida y regreso, o bien puede adquirir ingresos independientes, en los cuales se encuentra puntos de entrada en la superficie por calles distanciadas entre 10 m a 2 cuadras de distancia. Los túneles poseen subniveles y sub-túneles, donde en la mayoría de los casos se encuentra la conexión con otras rutas del sistema.

Figura 26. Interior estación Forrest Hill, MBTA



Fuente: (SUBWAY NUT, s.f.)

Paradero al interior de estación subterránea terminal se observa tren en la parte izquierda y vacío para tren en la parte derecha.

Figura 27. Ingreso estación subterránea.



Fuente: (MBTA, 2018)

Conectividad modal: Para el caso en la parte exterior se encuentra puentes, donde se conectan puntos entre túneles, en ellos también puede encontrar estaciones para carga y descarga de pasajeros, brindando al usuario una vista de algunas de las mejores zonas de Boston. En la superficie también encontramos vías férreas convencionales, que hacen parte de la red más antigua

del tren, y también son las encargadas principalmente de conectar la ciudad con las áreas aledañas o suburbios.

A lo largo del recorrido en el sistema se pudo observar que la mayoría de las rutas funcionan en un intercambio de infraestructura, ya sea túnel-puente, túnel-superficie, túnel-túnel bajo el agua, pero independientemente de los cambios de infraestructura la eficacia del sistema no baja su desempeño, se puede asumir que lo que está registrado en el papel con el que fue diseñada cada parte vial cumple para los requerimientos iniciales de diseño.

2.3.2 Caracterización sistema férreo en Boston.

Basado en esta experiencia, se pueden definir y profundizar en las características del sistema Férreo de Boston que lo hacen eficiente, sostenible y accesible para los pasajeros. Para su caracterización, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

2.3.3 Infraestructura.

El sistema férreo de transporte cuenta con 5 líneas identificadas por colores, naranja, verde, roja, azul y gris. Cada una de ellas tiene diferentes características y se encarga de alimentar diferentes sectores de la ciudad, monitoreados desde el centro de control donde cada una de ellas tiene un tablero de mando independiente.

La línea verde, tiene un recorrido desde Lechmere, llegando a las zonas de Boston College, Clevelan Circle y Riverside. Cuenta principalmente con trenes convencionales, que se mueven en infraestructura mixta entre línea férrea tradicional a la altura urbana y algunos tramos subterráneos.

La línea azul existente entre la zona Bowdoin y Wonderland, cuenta con trenes que se mueven en infraestructura subterránea y en túneles que atraviesan el río...

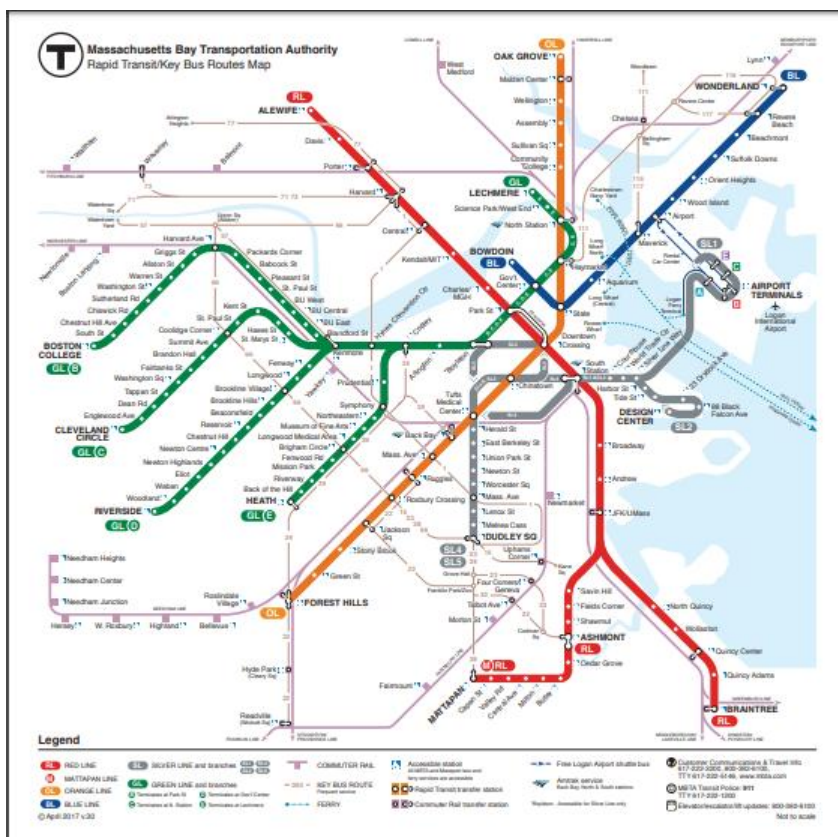
La línea naranja tiene una estructura subterránea tipo metro que va desde Oak Grove hasta Forrest Hill, y funciona con zonas de rieles sencillos y zonas con rieles de 3 carriles donde uno de ellos es el encargado de transmitir la corriente necesaria para el funcionamiento del tren.

La línea roja conecta Alewife uno de los sitios más apartados de la ciudad hasta el lado sur de la misma y su infraestructura va desde subterráneos, hasta puentes elevados, atravesando el río.

La línea gris funciona a nivel urbano a la vista y es la encargada de conectar con los suburbios o zonas aledañas de la ciudad.

Al ser un sistema de transporte multimodal, cada una de estas líneas tiene puntos de interconexión con las otras, principalmente bajo tierra, presentes en el mismo nivel o subniveles subterráneos. Esto permite que el usuario pueda realizar intercambios entre líneas, para llegar a su destino utilizando los diferentes componentes del sistema, mientras a nivel de la ciudad se conserva la infraestructura, arquitectura y espacio convencional.

Figura 28. Distribución red férrea Boston



Fuente: (MBTA, 2018)

A lo largo de las rutas del tren en el sistema férreo de Boston, se puede observar las diferentes infraestructuras:

Túneles: la mayoría de los trayectos del sistema están basados en conexiones bajo tierra que unen los diferentes puntos de acceso. Estas estructuras están compuestas por la estación, con zonas de espera, paraderos, escaleras eléctricas e n sus extremos los túneles de entrada y de salida de la estación.

Figura 29. Túnel al inicio estación red roja MBTA



Fuente: (WIKIMEDIA COMMONS, 2018)

En las estaciones terminales la llegada de los trenes tienen ingreso en varios costados. Si se el tren conservara esta misma ubicación a lo largo del destino, no coincidiría el sitio de espera en cada estación, por lo cual a la salida de estas estaciones existe un cruce en los rieles, que le permiten al tren volver a su posición, según el sentido en el que vayan a ejercer el sentido.

Para el cambio de sentido de la ruta del tren, las estaciones terminales, cuentan con un cruce de rieles, donde hacen el cambio de posición, al cambiar el sentido de la ruta que van a alimentar.

Figura 30. Cruce de sentido en estación terminal.



Fuente: (Wilson, s.f.)

Puentes: a lo largo de los recorridos se pueden observar puentes en diversas formas, los que están contruidos a nivel de carretera, para pasar sobre otras carreteras, como aquellos que sirven para pasar cuerpos de agua, ya sea canales de desagüe o más extensos como ríos.

Figura 31. Puente pasó trayecto vehicular



Fuente: (Nycsubway, s.f.)

Figura 32. Puentes para atravesar cuerpo de agua.



Fuente: (Traveling, s.f.)

A lo largo de los recorridos se encuentran vías férreas de la forma tradicional, que están formando parte de las carreteras y las cuales están compuestas por rieles en una superficie de concreto, lo cual no significa que en todo el recorrido se mantenga exclusivamente esta infraestructura, ya que esta línea en algunas estaciones funciona a nivel subterráneo.

Figura 33. Línea férrea tradicional a nivel urbano.



Fuente: (Commonwealthmagazine, s.f.)

2.3.4 Accesibilidad

Aunque la función principal del MBTA es la movilidad de personas a través del tránsito, está claro que la facilidad con la que se puede acceder a los servicios, en pie, en bicicleta o en automóvil es fundamental para los pasajeros. Para lograr esto, en 2007 se creó un acuerdo con el Centro para la Vida Independiente de Boston (BCIL) para mejorar la accesibilidad a todos los servicios de las personas con discapacidades. Un requisito clave del acuerdo es la eliminación del tratamiento separado de Personas con discapacidades en las estaciones.

Algunas de las estrategias físicas para mejorar la accesibilidad en las estaciones ha sido la implementación del uso de mini-alta plataformas o plataformas móviles como una estrategia interina para proporcionar accesibilidad. Así como, por ejemplo, áreas de almacenamiento de bicicletas cubiertas y seguras.

Además, la disponibilidad de estacionamiento en las cercanías de las estaciones ferroviarias y de tránsito rápido son fundamentales para considerar el transporte público un modo viable de viaje, particularmente en áreas suburbanas, donde el 80% de los pasajeros acceden a las estaciones en automóvil. Al hacer el tránsito atractivo para estos clientes, el MBTA debe considerar dónde y en qué medida incluir estacionamientos adicionales en las estaciones.

2.3.5 Funcionamiento, automatización y control del sistema.

En cuanto a la tecnología aplicada por el MBTA, estos se han asegurado de invertir recientemente en tecnologías para mejorar la confiabilidad, la comodidad y conveniencia de sus servicios. Estas tecnologías incluyen:

- Signos de mensaje variable,
- Avisos de parada automatizados
- Equipo automatizado de recolección de tarifas
- Despacho asistido por computadora
- Localizadores automáticos de vehículos (CAD / AVL).

La estrategia tecnológica del MBTA ha sido automatizar muchos sistemas y recopilar datos que se puede usar para mejorar los servicios. Estas tecnologías tienen como propósito mejorar la confiabilidad del servicio, la comunicación y conveniencia, y sistema seguridad que incluyen:

- Comprar e implementar pases automáticos contadores en todo el sistema para mejorar oportunamente colección de datos de carga de pasajeros.
- Ampliar las capacidades existentes y la inversión en nuevas tecnologías que ayudan en la ubicación y llegada del vehículo para mejorar rendimiento de tiempo.
- Instalar y mantener el sistema de alerta del próximo tren a todos los puestos de tránsito rápido y de cercanías.
- Invertir y actualizar regularmente el Sistema de planificación de viajes web y móvil Centro de control de operaciones del metro MBTA con horario en tiempo real y rendimiento a tiempo funcionalidad principal para todos los modos.
- Instalar y mantener el sistema de alerta del siguiente bus en las paradas de autobús de Key Route que tienen más de 100 abordajes por día.
- Actualización y mejoramiento de forma automática fare-collection (AFC) de las capacidades, incluyendo ex- expansión al tren de cercanías y estacionamiento.
- Mantenimiento de los sistemas de seguridad existentes y actualizándolos / expandiéndolos como tecnologías y necesita cambio

- Mantenimiento de una computadora redundante y segura redes.
- Invertir en los sistemas necesarios para proteger seguridad del cliente al hacer un pase en línea compras.
- Invertir en equipos suficientes de simulación de autobuses para entrenar nuevos operadores y volver a entrenar operadores veteranos de manera regular
- Implementar sistemas de control de trenes positivos en la Línea Verde y todas las líneas ferroviarias de cercanías.

2.3.6 Sostenibilidad

El MBTA ha invertido una parte considerable de sus fondos de capital en vehículos nuevos que consumen menos electricidad. Los vehículos son autobuses híbridos eléctricos que tienen un ahorro de combustible que es un 44% más bajo que los autobuses de diésel tradicionales. En cuanto a combustibles, MBTA consume nueve tipos de energía desde la electricidad y el diésel hasta el combustible para aviones

Si bien el uso de energía fue más alto en 2016 que en años anteriores, las emisiones de GEI fueron las más bajas de la historia debido a la conversión de equipos viejos a fuentes de combustible más eficientes en GEI, tales como las locomotoras Commuter Rail a diésel.

Gracias a las tecnologías aplicadas al Sistema, ha sido posible rastrear y administrar el uso del agua, lo que ha llevado a la menor cantidad de agua consumida desde que comenzó el rastreo.

2.3.7 Prioridades para el desarrollo (aspectos relevantes del transporte)

MBTA tiene 3 fundamentos para tener en cuenta al momento de desarrollar los planes y mejoras:

- **Rehabilitación:** los sistemas de transporte deben tener un constante aporte de capital, para mantener cada parte y equipos en adecuado funcionamiento.
- **Modernización:** para que un sistema sea efectivo debe estar en constante modernización, debe contar con actualizaciones de sistemas, nuevas tecnologías e inversión de recursos. Para hacerlo más seguro y accesible
- **Expansión:** y debe tener un componente de expansión que se adapte a la creciente demanda de pasajeros, cambios económicos, sociales, crecimiento poblacional, aumento de eficacia, entre otros.

Para que estos tres aspectos se desarrollen adecuadamente tienen varios aspectos para tener en cuenta:

Los medios brindan grandes ventajas para el desarrollo de una zona independientemente de su extensión, sea pueblo ciudad, país, continente.

A continuación, se muestran algunos de los beneficios que el transporte brinda, y los cuales son muy importantes al momento de tomar decisiones sobre el tránsito en una ciudad como Boston, y no en menos escala se debe presentar en cualquier sitio donde se quiera contar con un sistema eficiente.

Equidad: Un medio de transporte no puede ser excluyente en ningún sentido, toda persona que no puede o no elige conducir, tiene derecho al uso del medio de transporte correspondiente. Para garantizar esta equidad, la MBTA cuenta con

Políticas que velan por el cumplimiento de este ítem.

Congestión: para disminuir el alto grado de tiempos y vehículos en una ciudad, es necesario que el sistema encargado de brindar el servicio tenga la infraestructura adecuada, con los vehículos

adecuados, y un aforo de tránsito, que brinde las demandas necesarias para suplir de forma eficiente a la ciudad.

Ambiental: los vehículos o automotores generan una huella de carbono alta, por eso se deben tener estrategias tecnológicas que hagan del automóvil una herramienta más efectiva, con disminución de impacto al entorno.

Energía: cada vez se buscan y desarrollan nuevas tecnologías en Energías, que brinden mayor eficacia y su impacto sea menor. Así se aplican las energías limpias, que cada vez se están especializando.

Económico: los gastos para autos privados pueden ser alternativamente utilizado para mejorar las economías locales y la calidad de vida

Transito: en general permite la concentración de las actividades económicas en las ciudades y el acceso a ellas. Así mismo cuando este se concentra en un sistema, los costos de transporte en determinado sitio disminuyen, al igual que aspectos negativos como el nivel de accidentes, impactos en la vida humana, congestión, ruido y calentamiento global de una ciudad disminuyen.

2.3.8 Tecnologías

Para las tecnologías aplicadas, se tiene en cuenta ciertas características que ofrecen el adecuado diseño y funcionamiento óptimo del sistema, entre ellas se encuentra:

Soprote (contacto entre el vehículo y la superficie)

Neumático de goma en concreto: la fricción entre estos dos componentes debe ser la suficiente para evitar deslizamientos. Existen dos aspectos responsables de dicha fricción: la

adhesión y la histéresis. La adhesión es el esfuerzo al corte de la superficie de contacto y la histéresis es la pérdida de amortiguamiento en la goma.

A parte de estos dos elementos hay factores para tener en cuenta:

- Adherencia: depende de la estructura geométrica de la superficie de rodado, expresa el grado de fricción y drenaje del suelo.
- Presencia de agua en la superficie: la lámina de agua que se pueda presentar en la calzada puede producir hidro planeo o pérdida de control del vehículo.
- Naturaleza de la calzada: los componentes del pavimento determinan la vida útil de la calzada y así mismo sus condiciones de desgaste.
- Estacionalidad: el cambio de las estaciones verano-invierno modifica el comportamiento de la superficie de fricción.
- Presión de inflado del neumático: se debe tener el inflado adecuado ya que a mayor inflado del neumático, menor superficie de contacto, lo que lleva a la disminución de la fricción entre ambas superficies.
- Velocidad del vehículo: con el aumento de la velocidad el rozamiento tiende a disminuir.
- Importancia del tráfico: el tipo de vía determina el tipo de flujo vehicular que circula en ella, y así mismo este tráfico influye en el desgaste del pavimento.

Estos elementos se deben tener en cuenta para el oportuno mantenimiento de las vías y así garantizar el buen estado de estas que llevan a un funcionamiento óptimo de los vehículos de transporte presentes en ellas. (CAMPOS, 2018)

Rueda de acero en el carril de acero

Este contacto rueda-riel es de tipo metal-metal, donde existe diferencia de dureza entre ellos, siendo el riel de mayor dureza para incrementar la vida útil del mismo. Para desarrollar este tipo de tecnología se deben tener diseños geométricos, de curvaturas y de fricción que den un panorama del desempeño real en terreno. (Rico, 2014)

Orientación (control lateral)

Dirigido por el conductor: este sistema posee vehículos de manejo manual, como son los autobuses, donde las maniobras dependen de la pericia y capacidad adquirida del operador.

Guiado por la pista: los trenes tienen sistemas de monitoreo y avance sistemático, donde, aunque requieren un operador para funciones básicas de arranque, frenado, apertura de puertas, se aumenta la seguridad en el trayecto.

Propulsión

Los trenes y vehículos del sistema MBTA funcionan con diversos tipos de combustible, que se han ido adecuando de acuerdo con las necesidades y en pro de aumento de eficiencia, disminución de impacto ambiental y disminución de costos, se puede encontrar entre los siguientes tipos de combustible:

- Diesel ICE: Diesel modificado con bajo contenido de sulfuro, que disminuye la generación de gases tóxicos y aumenta la vida útil de los elementos. (ICE, 2018)
- GNC: gas natural comprimido, considerado entre las energías limpias. Se trata de metano comprimido a 200 y 250 atm de presión. Este combustible aporta una gran disminución de costos, disminución considerable de emisiones carbono a menos de 120 g/kg de carbono. Por lo que está clasificado entre los combustibles ECO. Lo que también lo hace un combustible seguro y poco inflamable, ya que al ser más ligero que el aire, ante un escape,

se dispersa de forma casi inmediata, sin dar lugar a concentraciones peligrosas. (Business Insider, 2018)

➤ Motor eléctrico: es una de las tecnologías de mayor aplicación debido a sus ventajas frente las que tiene gasolina como su componente.

Una de ellas es la disminución en la contaminación del aire ya que no general gases derivados de la combustión y la contaminación auditiva ya que no generan ruido, por no poseer ningún proceso que genere sonido, adicional este tipo de avance provee disminución de costos, por uso de electricidad a cambio de la gasolina cuyo costo es de comportamiento variable debido a los incrementos del petróleo. (Cipsa, 2018)

➤ Híbrido: son aquellos vehículos que se mueven debido a dos tipos de motores, uno de tipo convencional de combustión de gasolina, que genera la fuerza de arranque y empuje y otro de tipo eléctrico que mantiene la velocidad y disminuye el consumo del gasóleo, ayudando a que se disminuya entre otras la contaminación por combustión y generación de gases tóxicos. (Xataca, 2012)

2.3.9 Análisis infraestructura y tecnología aplicadas en Boston

De acuerdo con los numerales anteriormente expuestos, y con el fin de lograr un panorama equivalente de los dos sistemas de transporte, tanto actuales como proyectados de ambas ciudades se realiza una extracción de datos principales, calculando variables, que permitan sacar una proporción el estado de estos medios.

2.3.10 Comparación equivalente datos existentes

La siguiente grafica muestra la población existente de cada ciudad, su correspondiente extensión geográfica y vial, capacidad de pasajeros de cada red y anchos de vías, que permitirán hacer un análisis comparativo de parámetros básicos en los dos sistemas.

Tabla 1. Datos sistema actual pasajeros

CIUDAD	BOGOTA	BOSTON
POBLACION (número habitantes)	8080000	673184
EXTENSION GEOGRAFICA (km)	1636.37	232.14
EXTENSION RED VIAL ACTUAL (km)	154.23*	101.5
CAPACIDAD PASAJEROS (número usuario)	160	221
Nº PASAJEROS /DIA	2560000	356164.38
ANCHO DE VIA (mm)	914	1435

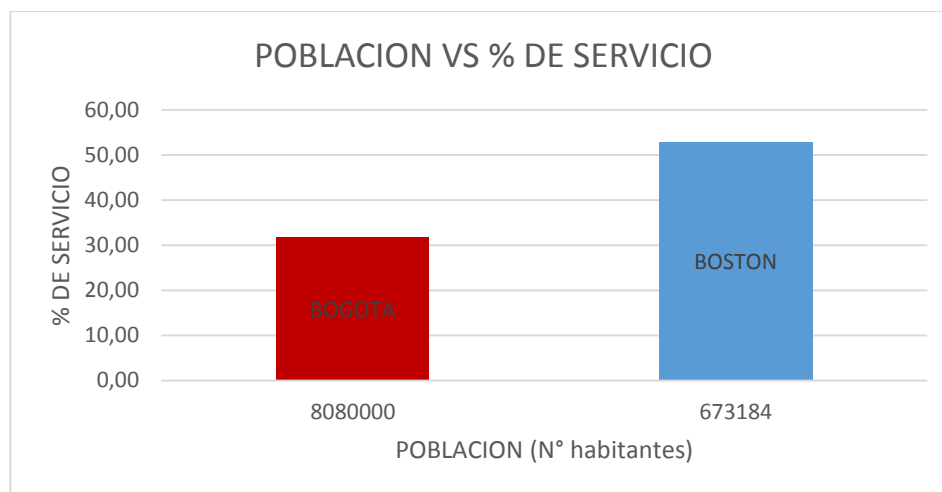
* valor incluye metraje Transmilenio y tren de la Sabana

Fuente: (EL TIEMPO, 2018), (CENSUS, 2018), (MAPAS BOGOTA, 2018), (DB city.com, 2018),(TRANSMILENIO, 2018), (IGAC, 2018)

Población vs Porcentaje de servicio

Tomando como base la población total de cada ciudad y la población activa para los sistemas de transporte, se estima el porcentaje de servicio equivalente para cada ciudad.

Gráfica 1. Población total Vs porcentaje de servicio



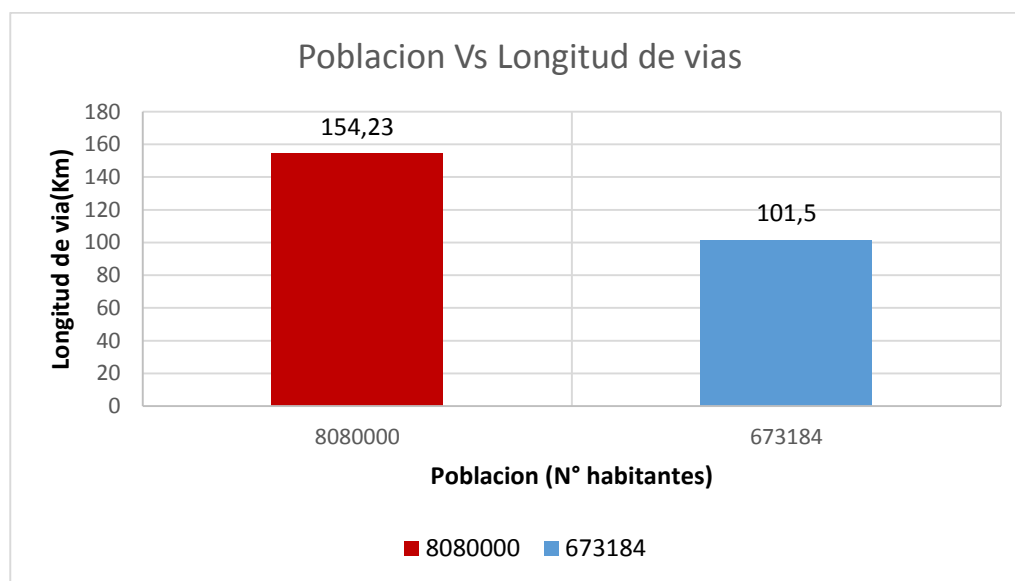
Fuente: (Autora, 2018)

Según grafica 1 la población de servicio correspondiente a Bogotá con una población total de 8.080.000 habitantes presenta un porcentaje de servicio de 31.68% correspondiente a 2.560.000 habitantes. A su vez Boston presenta una población de servicio correspondiente a 356164 habitantes, que equivale al 52.91% de la población total.

Población vs Longitudes de vías

El servicio a cada población se efectúa mediante vías ya construidas, correspondientes al tren y metro en el caso de Boston, y en el caso de Bogotá, a las vías troncales de Transmilenio y tren de cercanías. Para tener una proporción adecuada solo se tiene en cuenta las distancias correspondientes a servicios troncales, por lo que la población transportada a través de rutas alimentadoras no está incluida en la medición.

Gráfica 2. Población total Vs Longitud de vías



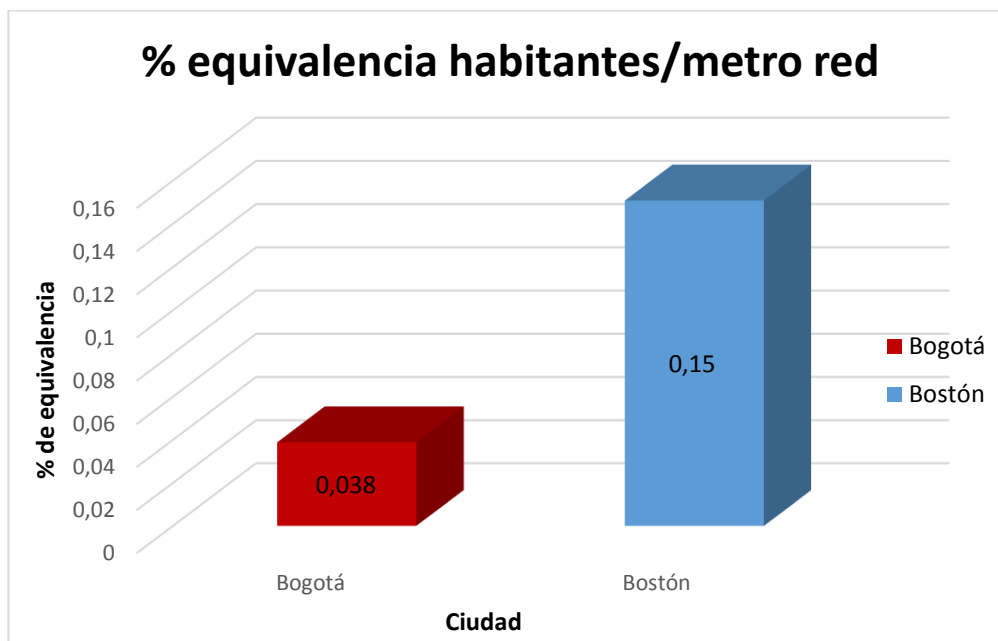
Fuente: (Autora, 2018)

En la gráfica 2 se observa que entre las redes solo existe una diferencia de 54 Km construidos, cuando la diferencia poblacional es mayor a 7 millones de habitantes de Bogotá con respecto a Boston.

Porcentaje equivalencia habitantes por metro de red

Partiendo de la Grafica 2 se busca determinar cada habitante que correspondencia tiene de la red vial.

Gráfica 3. Porcentaje equivalencia habitantes/metro red



Fuente: (Autora, 2018)

La grafica 3. evidencia que, para cada habitante de la ciudad de Bogotá, existe una equivalencia 0,038 metros y para la ciudad de Boston, esta equivalencia es de 0,15 lo que muestra más del 100% en aumento de equivalencia de red.

2.3.11 Análisis requerimientos según datos proyectados

La tabla 2. Muestra las proyecciones reales establecidas para la ciudad de Bogotá, y basadas en estas se realizan escenarios posibles, de acuerdo con variables establecidas.

Tabla 2. Datos proyectados construcción red vial Bogotá

CIUDAD	BOGOTA
CAPACIDAD PASAJEROS REGIO TRAM	447
CAPACIDAD PASAJEROS METRO	2011.5
EXTENSION RED VIAL PROYECTADA	66.29
N° PASAJEROS /DIA PROYECTADA	1201000
PRESUPUESTO (Billones de pesos)	13.8
TIEMPO EJECUCION (años)	5

Fuente: (EL ESPECTADOR, 2014); (METRO EN BOGOTA, 2018); (PORTAFOLIO, 2017)(EL TIEMPO, 2017); (CANAL INSTITUCIONAL, 2018)

La capacidad de pasajeros que se proyecta transportar y la extensión de la red vial adicional, son parámetros influyentes al momento de desarrollar, diseñar y valorar la viabilidad de estos sistemas.

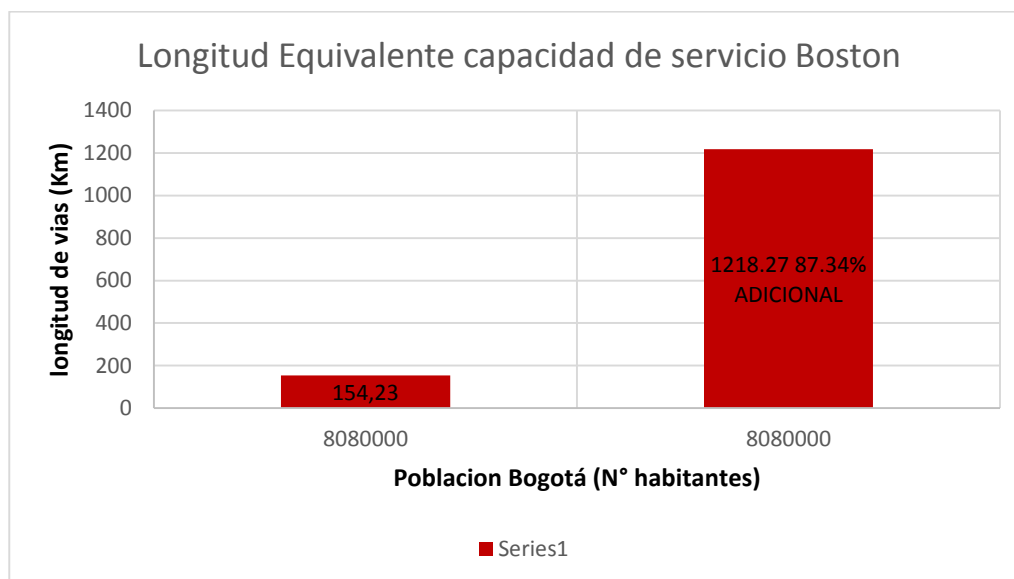
A su vez teniendo como punto de partida los mismos parámetros ya conocidos de la ciudad de Boston y dado que esta arroja mayores porcentajes de servicio y eficacia, se puede obtener un estimativo de cuál sería la red vial existente en Bogotá, incluida metro, Regiotram y Transmilenio, y cual el presupuesto necesario, para suplir un servicio que se iguale en proporción al del MBTA en la ciudad Estado-unidense.

A continuación, se realiza un enfoque comparativo:

Longitud Equivalente capacidad de servicio Boston

Para hallar la cantidad de red vial necesaria para igualar el porcentaje de servicio de Bogotá con respecto al de Boston se toma como base el porcentaje de servicio de Boston y mediante regla de tres se logra el aproximado.

Gráfica 4. Longitud equivalente capacidad de servicio Boston



Fuente: (Autora, 2018)

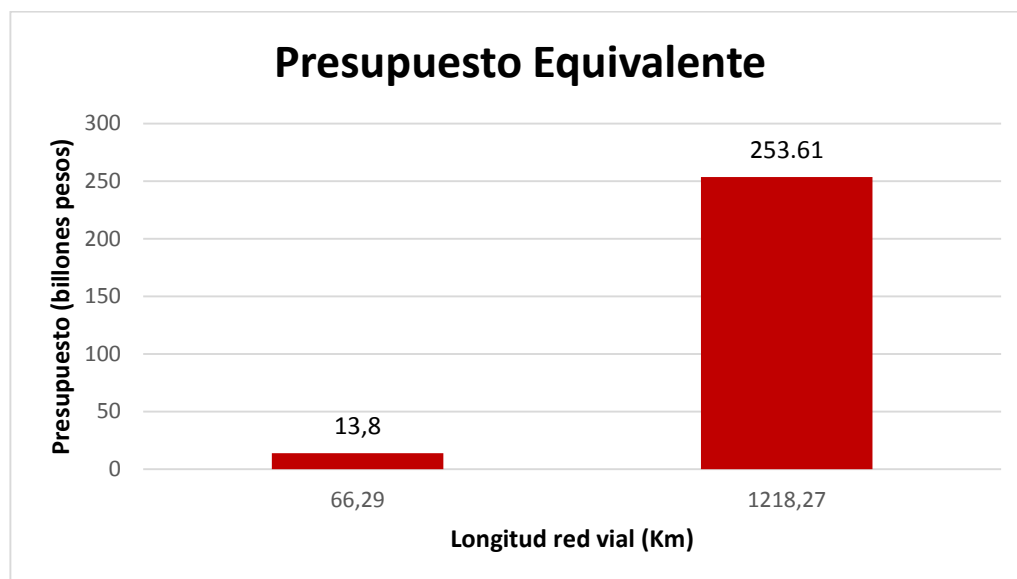
Para surtir en Bogotá una población de servicio igual a la población correspondiente de Boston, la capital tendría que adecuar 1218.27 km de vías adicionales correspondiente a 87.34 % de red adicional.

Según tabla 2. El aumento proyectado para el metro y el Regiotram será de 66, 29 km de red, dejando aun un déficit vial de servicio de 1151.98 Km

Presupuesto equivalente red requerida

Existe un presupuesto destinado para la extensión vial en la ciudad de Bogotá. Como se evidencia en los gráficos anteriores existe un déficit de longitud, para igualar una capacidad de servicio de referencia que ha mostrado ser un porcentaje óptimo. La siguiente tabla muestra cual sería el presupuesto aproximado para la construcción del kilometraje faltante.

Gráfica 5. Longitud equivalente capacidad de servicio Boston



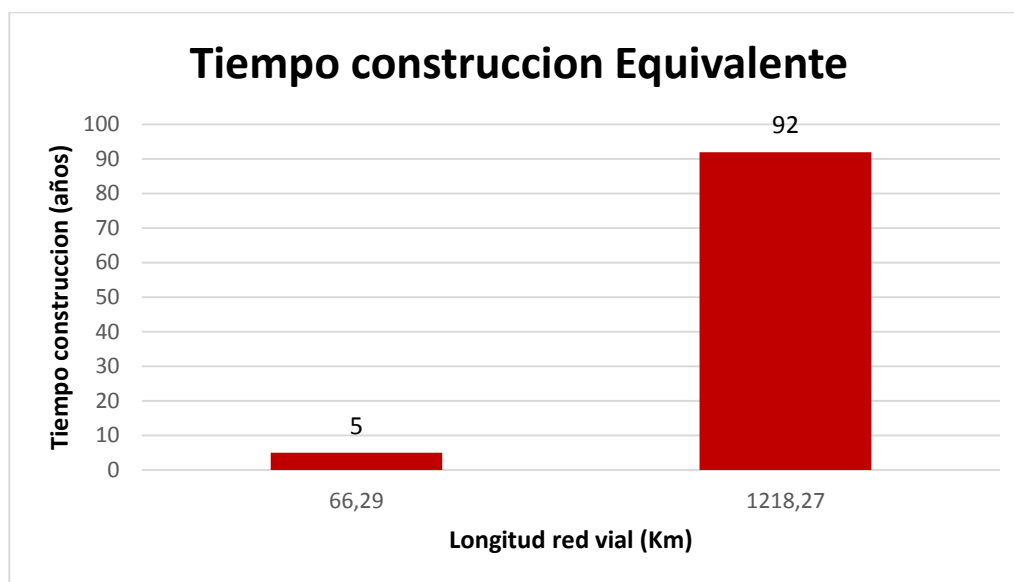
Fuente: (Autora, 2018)

Según gráfica 4 para 66.29 Km de red vial nueva se requiere un presupuesto de 13.8 billones de pesos, el valor equivalente necesario para construir 1218.27 Km es de 253.61 billones de pesos.

Tiempo de construcción

La siguiente grafica muestra el promedio de tiempo que se necesita para la ejecución de la red faltante.

Gráfica 6. Tiempo de construcción equivalente



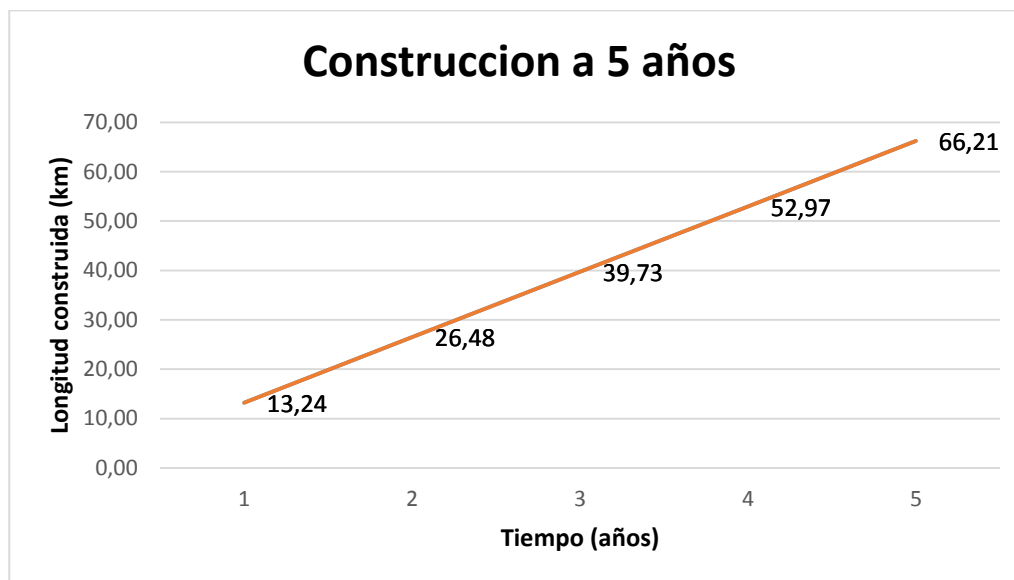
Fuente: (Autora, 2018)

Según datos obtenidos, para la construcción de 66.29 km de red se requieren 5 años de ejecución, con esta proyección para construir 1218.27 km el total de años necesarios es de 92 años. Equivalente a la construcción de 13.24 Km por año.

Cantidad de km construidos 5 años

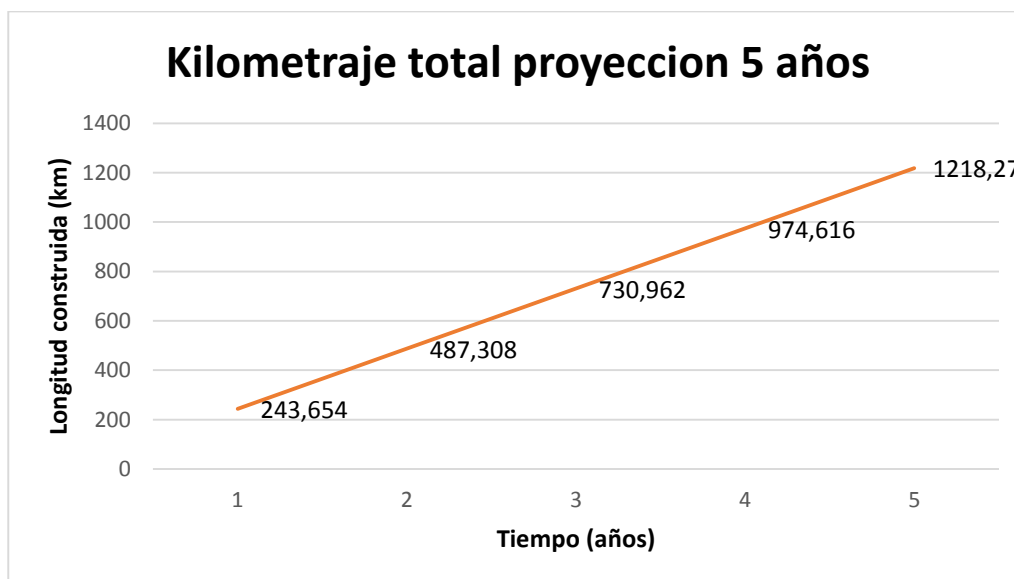
Con la rata de construcción de 13.24 km por año, en 5 años se construye 66. 21 km de red total.

Gráfica 7. Cantidad Kilometraje construcción 5 años



Fuente: (Autora, 2018)

Gráfica 8. Construcción total 5 años



Fuente: (Autora, 2018)

En el grafico 7 se muestra como siguiente un promedio de construcción de 13.24 km por año, en 5 años se construye 66,21 km, para lograr el objetivo de la ejecución total de 1218.26 km en 5 años, se requiere la llevar a cabo 243.65 km por año (grafica 8), con esto se lograría un nivel de servicio adecuado.

2.4. Innovaciones tecnológicas e infraestructura relevantes aplicables a un sistema férreo Bogotá.

2.4.1 Cuadro comparativo innovaciones y estructuras relevantes

La siguiente tabla muestra de manera general y comparativa las tecnologías e infraestructura más relevante encontrada en Boston y Bogotá, para posteriormente explicar cada una y como se puede emplear la transferencia tecnológica.

Tabla 3. Resumen tecnologías Boston-Bogotá

	TECNOLOGIA	BOSTON	BOGOTA	OBSERVACION
	Infraestructura	-Puentes -Túneles -Autopistas -Interconexión subterránea entre estaciones.	Autopista Puentes	Boston posee diversidad de elementos de infraestructura y gran correlación entre ellos a nivel físico y funcional
	Combustible	Trenes y buses de tipo: híbrido, eléctricos, Diesel y GNC	Buses de tipo Diesel y Eléctricos. Trenes eléctricos con tecnología años 50	MBTA trabaja constantemente para la implementación de recursos más eficientes y menos contaminantes en el sistema
	Automatización	Centros de mandos para manejo de sistema en general.		Las líneas de tren tienen centros de monitoreo, para control de tiempos

		Cada ruta de tren un circuito independiente. Cámaras de monitoreo a nivel general del sistema		entre servicios y control de seguridad dentro del sistema.
	Cruce de líneas	Cruce en la salida de estación terminal, para retomar el sentido de la ruta en la vía de retorno	Curvas posteriores a estaciones terminales, para dar retorno y sentido a la ruta de regreso.	La utilización de los espacios y recursos es un aspecto fundamental en el desarrollo del MBTA.

Fuente: (Autora, 2018)

2.5 Transferencia tecnológica a Bogotá

Tal como se mencionó en las secciones anteriores el sistema de movilidad existente en la ciudad de Bogotá presenta déficit frente al sistema férreo de Boston. El aporte tecnológico parte de la propuesta de unir los diferentes medios de transporte en un solo sistema integrado que cubra las necesidades de la población, sea amigable con el medio ambiente y referente a nivel mundial en cuanto a tecnologías de innovación. A continuación, se explican los aspectos de la mayor relevancia para el aporte tecnológico pertinentes para el avance y mejora de la movilidad en Bogotá.

2.5.1 Infraestructura:

En cuanto al tema de infraestructura, la propuesta se basa en la implantación de estaciones multimodales que ofrezcan conexión entre los diferentes medios de transporte y que integre el férreo como punto de partida y valor agregado. Esto permitirá mejorar la accesibilidad, la

seguridad y la cobertura del sistema en toda la ciudad, disminuyendo tiempos de viaje, incluyendo a todo tipo de pasajeros y ofreciendo una mejor conexión entre estaciones.

Estaciones cerradas: la construcción de estaciones cerradas a nivel de vía férrea brinda seguridad en el sistema, confort a los habitantes y disminución en nivel de accidentalidad, por posibles intentos de infiltración de personas en el sistema. Útil para el tránsito de ternes eléctricos.

Conexión entre estaciones: se debe garantizar la conexión entre los diferentes elementos del sistema modal. Mediante rampas o escaleras se puede alcanzar esta finalidad.

Rampas y escaleras interiores: Dado que la construcción del metro se planea de forma elevada sobre la infraestructura existente del Transmilenio, la construcción de estos elementos se puede realizar internamente en estaciones de dos niveles, facilitando el cambio de servicio sin salir del sistema.

Rampas y puentes exteriores: El Regiotram al funcionar como posible alimentador para los otros dos modos (Metro y Transmilenio) puede unir por rampas o puentes externos, transportando las personas de las cercanías, hasta el punto de acceso del metro y Transmilenio.

Puentes: el uso de estas estructuras para el paso de avenidas importantes es fundamental para el desarrollo de la ciudad. En estos se puede mejorar la ocupación del espacio, creando estaciones de intercambio localizadas en ellos, lo que les daría doble función.

Túneles: al igual que los puentes, en la ciudad de Bogotá, están creados en su mayoría para pasar por vías principales sin afectar el tráfico de estas con la instalación de semáforos que modifiquen el paso continuo. Al utilizarlos en doble función, también se estaría maximizando la utilidad de una estructura de este tipo.

Cruce de líneas: La construcción de sistema cruzado para el cambio de sentido en estaciones terminales es útil para disminución de espacio y supresión de curvas adicionales para retorno en el sistema.

2.5.2 Combustible

Se propone la implementación de un sistema basado en trenes eléctricos y/o a base de Gas Natural Comprimido que promuevan la sostenibilidad del sistema de transporte y disminuya los gastos asociados a combustible fósil, mejorar los niveles de polución en la ciudad y así mejorar la salud y uso del transporte en los ciudadanos.

Trenes eléctricos: dada las situaciones de ruido, contaminación y polución de Bogotá, la implementación de sistemas eléctricos favorece la disminución de los niveles de estrés y contaminación general, disminuyendo el consumo de gasolina y Diesel en la ciudad.

Buses: El uso de GNC (gas Natural Comprimido) tanto en buses como trenes es ideal para disminución de costos e impacto ambiental.

2.5.3 Automatización y Control

La automatización y control propone mejorar los tiempos de servicios, funcionamiento y espera en las estaciones del sistema integrado incorporando tecnologías que cumplan con los lineamientos y propósitos del sistema de movilidad de Bogotá.

Tiempo de servicio y espera: El control de los tiempos de servicio espera y retrasos en el servicio brinda la posibilidad de planear los viajes de forma real, y brindar al usuario confort frente

al sistema. Esto se hace mediante la instalación de dispositivos de seguimiento en los automotores, y respetando el tiempo real de desplazamientos y esperas. Para tener coherencia entre el servicio que se espera obtener y el que realmente se obtiene.

2.6 CONCLUSIONES

2.6.1 De la Experiencia.

En cuanto a la experiencia vivida en Boston, esta fue muy enriquecedora en cuanto a los conocimientos adquiridos, la oportunidad de conocer de primera mano las instalaciones del sistema de Boston, de poder aprender el idioma y ponerlo en práctica todos los días y de conocer personas que, como yo, estaban buscando enriquecer su formación con experiencias internacionales que nos abran las posibilidades y la mente en vísperas del graduarnos como ingenieros civiles.

Pienso que, como institución, La Universidad Católica de Colombia debería seguir ofreciendo a todos los estudiantes estas oportunidades de internacionalización como ampliación de la formación con electivas no solo con Boston sino con todas las ciudades de EE. UU. y con otros países, permitiendo crear alianzas con países más desarrollados y Colombia para un mejor futuro de los estudiantes y mejores oportunidades.

Esta experiencia, sin duda alguna marcó un precedente en mí que servirá como base y estandarte de lo que el mundo puede ofrecer a los profesionales y me dejó claro que no hay límites para cumplir mis metas como profesional, como mujer y como colombiana.

2.6.2 Del análisis de datos y lo que estos datos dicen de la situación actual.

De acuerdo con la información suministrada por la tabla 1 y 2, de datos existentes y datos proyectados de ambas ciudades, se realizaron posibles escenarios para la optimización del sistema.

En cuanto a la calidad del servicio se encontró que, aunque Bogotá es una ciudad de dimensiones y población que sobrepasan en mucho las medidas de Boston, el porcentaje equivalente es de 0.038 red vial/usuario, contra 0.15 correspondiente a Boston, cantidad muy inferior, teniendo en cuenta que la población de la capital colombiana es 7.000.000 mayor que la población de la ciudad norteamericana. De la misma forma al calcular el porcentaje de también tiene un resultado inferior, encontrando un 31.68 % contra 52.91%, por lo que se realizó una proyección de la extensión vial adicional correspondiente a la ciudad de Bogotá, para igualar las condiciones encontradas en Boston, donde el porcentaje de servicio es mayor al 50% sobre los usuarios del sistema, encontrando un longitud adicional de red de 1218 Km. Extensión bastante alta, si se contempla que en los proyectos de mejora la red vial a construir es de aproximadamente 66 km.

Para tener una red vial de estas dimensiones y eficiencias, es necesario la incrementación de recursos tanto financieros como de tiempo. Los recursos financieros de 13.8 millones de dólares, se incrementaría a 253 millones de pesos colombianos. Y así mismo para construir este sistema, proyectado para 5 años, se necesitaría un promedio de 92 años, lo que es un tiempo bastante extenso de construcción, que se vería reflejado en incrementos económicos.

Con el fin de disminuir o mantener aspectos financieros, se realizó un estimado de construcción a 5 años, lo que requiere aumentar a 243.65 km de construcción anual, para finalizar el total de la obra en este periodo.

Todas las proyecciones se hicieron con la finalidad de tener un panorama general y aproximado, de como la ciudad de Bogotá podría mejorar los aspectos de movilidad.

2.6.3 De la propuesta tecnológica.

Las características del sistema del MBTA en la ciudad de Boston, son muy eficientes y de tecnología sencilla. Se basa en seguir pasos sencillos y coordinados para lograr la optimización del sistema. En Bogotá el sistema de transporte de Bogotá actual es un sistema eficiente, pero ya colapsado, por lo que requiere nuevos estudios para expansión y optimización.

La sincronización entre sistemas de buses, trenes, metros, seguridad y logística, hacen del sistema del MBTA, un sistema de fácil acceso, uno de sus componentes principales a destacar es la puntualidad en la prestación de servicios. En Bogotá, un gran foco de inconformidad es la gran disposición de tiempo que se debe tener para poder tener acceso al servicio.

Aunque el sistema férreo ha tenido muchos avances a nivel mundial en cuanto a infraestructura y eficiencia, en Colombia no se han implementado modelos ni realizado mejoras en la infraestructura, que le permitan aplicar las ventajas que se han desarrollado.

Los proyectos de desarrollo propuestos sirven para posicionar nuevamente a Bogotá y Colombia entre los países con desarrollo tecnológico en infraestructura vial y de transporte.

El Transmilenio permite hacer largos recorridos en tiempos apropiados y cortos en comparación con el tránsito general, pero no posee infraestructura que supla el gran volumen de usuarios que demandan el sistema.

Es fundamental para el mejoramiento del servicio en Bogotá, contar con la posibilidad de un planeador de ruta real. Al tener un control de los tiempos de servicio y retrasos se puede tomar medidas sobre unas de las grandes problemáticas del sistema actual, la insatisfacción frente a los

tiempos de espera para acceder al servicio, con presencia de altos grados de retraso, que conducen a una acumulación de usuarios a la espera de un servicio, y aumenta los niveles de accidentalidad al momento de ingresar al vehículo.

Con el desarrollo del Regiotram se da un paso muy importante, al activar vías férreas existentes, y abriendo la posibilidad para que este medio de transporte apoye al sistema actual y así mismo bajen los niveles de insatisfacción de la ciudad, así mismo Colombia y Bogotá, nuevamente juegas en el posicionamiento mundial de los sistemas férreos, aumentando la posibilidad de actualización periódica.

El uso de puentes y túneles, para facilitar el ingreso a los sistemas de desarrollo, evita comprometer grandes recursos, creando nuevas estructuras o grandes excavaciones.

Se requiere destinar un mayor presupuesto para desarrollar un sistema de transporte eficaz y así bajar los niveles de superpoblación al interior de los vehículos, al mismo tiempo que mejorar los tiempos de recorrido y acceso.

Bibliografía

- ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de BOGOTA:
<http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- ANI. (23 de Abril de 2018). *www.ani.gov.co*. Obtenido de [http://www.ani.gov.co/el-tren-de-bogota-
zipaquira-moviliza-mas-de-456-mil-pasajeros-al-ano-la-mayoria-estudiante](http://www.ani.gov.co/el-tren-de-bogota-zipaquira-moviliza-mas-de-456-mil-pasajeros-al-ano-la-mayoria-estudiante)
- APTA . (DICIEMBRE de 2017). Obtenido de APTA : [www.apta.com/me
diacycenter/ptbenefits/Pages/FactSheet.aspx](http://www.apta.com/me-diacycenter/ptbenefits/Pages/FactSheet.aspx)
- Autora. (12 de Abril de 2018). *Gráfica*.
- BANCO DE LA REPUBLICA. (MAYO de 2011). Obtenido de banrepcultural:
[www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/cjredencial/
mayo2011/ferrocarriles-en-colombia-
1836-1930](http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/cjredencial/mayo2011/ferrocarriles-en-colombia-1836-1930)
- BANCO DE LA REPUBLICA. (NOVIEMBRE de 2011). Obtenido de BANCO DE LA REPUBLICA:
www.banrepcultural.org/sites/default/files/85_519/brblaa465094.pdf
- BANCO DE LA REPUBLICA. (NOVIEMBRE de 2011). Obtenido de Banrepcultural:
www.banrepcultural.org/sites/default/files/85_519/brblaa465094.pdf
- BERY. (DICIEMBRE de 2017). Obtenido de MBTA BERY: <https://mbta.com> obtenido de
<https://mbta.com/history>
- BSML. (DICIEMBRE de 2017). Obtenido de MBTA BOSTON SCHOOL MASACHUSSET LANGUAGE :
[https://drive.google.com/drive/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_
CQLF6VSxPA6-?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_CQLF6VSxPA6-?usp=sharing)
- Business Insider. (18 de Abril de 2018). *Business Insider*. Obtenido de
<https://www.businessinsider.es/coches-que-funcionan-gas-que-son-glp-gnc-200640>
- CAMPOS, R. (ABRIL de 2018). ESTUDIO DE FRICCIÓN EN PAVIMENTOS.
[http://www.planospara.com/planos4/estudio-del-coeficiente-de-friccion-en-pavimentos-
11752.pdf](http://www.planospara.com/planos4/estudio-del-coeficiente-de-friccion-en-pavimentos-11752.pdf). CHILE. Obtenido de [http://www.planospara.com/planos4/estudio-del-coeficiente-
de-friccion-en-pavimentos-11752.pdf](http://www.planospara.com/planos4/estudio-del-coeficiente-de-friccion-en-pavimentos-11752.pdf)
- CANAL INSTITUCIONAL. (Abril de 2018). *www.canalinstitucional.tv*. Obtenido de
<https://www.canalinstitucional.tv/noticias/asi-sera-primera-linea-metro-bogota>
- CENSUS. (JULIO de 2016). Obtenido de CENSUS: www.census.gov obtenido de
<https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/bostoncitymassachusetts/PST045216>
- CENSUS. (5 de Abril de 2018). *www.census.gov*. Obtenido de
[https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/bostoncitymassachusetts,MA/PST045217#viewt
op](https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/bostoncitymassachusetts,MA/PST045217#viewtop)

- Cipsa. (26 de Abril de 2018). *Grupo Cipsa*. Obtenido de <https://www.cipsa.com.mx/17/noticias/%C2%BFcuales-son-las-ventajas-de-un-motor-electrico-a-uno-de-gasolina/>
- Commonwealthmagazine. (s.f.). *commonwealthmagazine.org*. Obtenido de <https://commonwealthmagazine.org/transportation/green-line-shutdowns-coming-track-repairs/>
- DB city.com. (3 de Marzo de 2018). <http://es.db-city.com>. Obtenido de <http://es.db-city.com/Estados-Unidos--Massachusetts--Suffolk--Boston>
- DINERO. (12 de Marzo de 2017). *DINERO*. Obtenido de <https://www.dinero.com/economia/articulo/industria-de-los-ferrocarriles-en-colombia/253000>
- DINERO. (Marzo de 2018). *www.dinero.com*. Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/la-evolucion-del-transporte-ferroviario-y-vial-en-colombia/223410>
- ECURED. (15 de 03 de 20018). *ECURED*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Boston>
- ECURED. (Abril de 2017). <https://www.ecured.cu>. Obtenido de Locomotora vapor: https://www.ecured.cu/Locomotora_de_vapor
- ECURED. (s.f.). *www.ecured.cu*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/images/8/89/Boston.jpg>
- EL ESPECTADOR. (18 de Diciembre de 2014). *www.elespectador.com*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/tren-de-cercanias-una-estacion-de-realidad-articulo-533997>
- EL PLANETA. (s.f.). *EL PLANETA*. Obtenido de <http://elplaneta.com/news/2016/feb/26/estudio-mbta-es-el-tercer-mejor-sistema-de-transpo/>
- EL TIEMPO. (3 de Octubre de 2000). *EL TIEMPO*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1226688>
- EL TIEMPO. (OCTUBRE de 2017). Obtenido de EL TIEMPO: www.eltiempo.com/colombia/medellin/como-va-el-proyecto-del-ferrocarril-de-antioquia-121494
- EL TIEMPO. (15 de Abril de 2018). *www.eltiempo.com*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/bogota/poblacion-por-edades-de-bogota-2017-109238>
- FEDERAL RAILROAD ADMINISTRATION. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de FRA: www.fra.dot.gov/Elib/Details/L03534
- FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION. (8 de 02 de 2018). *FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION*. Obtenido de https://www.transit.dot.gov/TAM/Resources/PeerLibrary/MBTA_AMP
- ICE. (04 de 2018). *ICE*. Obtenido de <https://www.theice.com/products/34361119/Low-Sulphur-Gasoil-Futures>

- IGAC. (9 de Febrero de 2018). <http://sigotn.igac.gov.co>. Obtenido de http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx
- IGAC. (13 de Abril de 2018). *INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI*. Obtenido de <http://geoportal.igac.gov.co/>
- ISSUU. (Abril de 2018). *ISSUU*. Obtenido de <https://issuu.com/camaracci/docs/informeferrocarriles>
- MAPAS BOGOTA. (3 de Abril de 2018). <http://mapas.bogota.gov.co>. Obtenido de <http://mapas.bogota.gov.co/#>
- MBTA. (16 de 12 de 2017). *DRIVE PRESENTATION I*. Obtenido de https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_CQLF6VSxPA6-
- MBTA. (22 de 12 de 2017). *DRIVE PRESENTATION II*. Obtenido de https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_CQLF6VSxPA6-
- MBTA. (16 de 12 de 2017). https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_CQLF6VSxPA6-. Obtenido de https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1QZvnlyv__BxHovnm4-_CQLF6VSxPA6-
- MBTA. (10 de 04 de 2018). Obtenido de <https://mbta.com/stops/commuter-rail>
- MBTA BSML. (DICIEMBRE de 2017). *MBTA BOSTON SCHOOL MASACHUSSET LANGUAGE*. Obtenido de WWW.DFAFARFwrWR
- METRO EN BOGOTA. (Abril de 2018). www.metroenbogota.com. Obtenido de <http://www.metroenbogota.com/video-notas-movilidad/servicios-del-sitp>
- MINISTERIO DE TRASPORTE. (s.f.). Obtenido de Mintransporte: www.mintransporte.gov.co/descargarphp?idFile=10192
- MINTRANSPORTE. (23 de Enero de 2018). www.mintransporte.gov.co. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?IServicio=FAQ&IFuncion=viewPreguntas&id=68#a485>
- Nycsubway. (s.f.). www.nycsubway.org. Obtenido de https://www.nycsubway.org/wiki/MBTA_Red_Line
- PORTAFOLIO. (29 de Octubre de 2017). www.portafolio.co. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/infraestructura/conpes-aprueba-la-construccion-de-regiotram-el-proyecto-ferroviario-que-unira-a-bogota-y-cundinamarca-511115>
- PORTAFOLIO. (Febrero de 2018). www.portafolio.co. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/infraestructura/transporte-ferreo-en-colombia-ya-tiene-reglamentacion-504070>
- PROPIO. (16 de 12 de 2017). AUTORA. *Visita 1*. . Boston, Massachusset, EEUU.
- Rico, Y. A. (MAYO de 2014). *BDIGITAL*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/45592/1/1017169213.2015.pdf>

- SAFE ROUTE TO SCHOOL. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de SAFE ROUTE TO SCHOOL: www.saferoutestoschools.org/SR2Simages/Transportation_History_sp.pdf
- SITP. (20 de Febrero de 2018). www.sitp.gov.co. Obtenido de <http://www.sitp.gov.co/info/sitp/media/img75080.jpg>
- SITP. (Abril de 2018). www.sitp.gov.co. Obtenido de http://www.sitp.gov.co/Publicaciones/servicio_urbano
- SOUTH STATION BOSTON. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de SOUTH STATION BOSTON: www.south-station.net/railroad-history
- SUBWAY NUT. (s.f.). *SUBWAY NUT*. Obtenido de http://subwaynut.com/mbta/orange_line/forest_hills/index.php
- TENDENCIAS FERROVIARIAS. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de TENDENCIAS FERROVIARIAS: www.tendencias21.net/EE-UU-desarrollara-diez-corredores-de-trenes-de-alta-velocidad_a4206.html
- TRANSMILENIO. (13 de Marzo de 2018). www.transmilenio.com.co. Obtenido de http://www.transmilenio.com.co/Publicaciones/colombia_segundo_pais_en_latinoamerica_en_movilizar_pasajeros_en_sistemas_de_transporte_brt
- Traveling. (s.f.). www.travelingwithjared.com. Obtenido de www.travelingwithjared.com/2013/01/29/the-boston-subway-its-t-time/
- Turismo EEUU. (s.f.). *Turismo EEUU*. Obtenido de <http://www.turismoeeuu.com/boston/>
- TURISMO. (s.f.). www.turismoeeuu.com. Obtenido de <https://www.turismoeeuu.com/transporte-en-boston/>
- Turistren. (15 de Abril de 2018). www.turistren.com.co. Obtenido de http://www.turistren.com.co/?page_id=17
- TURISTREN. (27 de Abril de 2018). www.turistren.com.co. Obtenido de http://www.turistren.com.co/?page_id=721
- TURISTREN. (25 de Marzo de 2018). www.turistren.com.co. Obtenido de http://www.turistren.com.co/?page_id=721
- UAEM. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de REDALYC: <http://www.redalyc.org/html/1251/125112650003/index.html>
- Universidad de la Sabana*. (26 de Abril de 2018). Obtenido de <https://www.unisabana.edu.co/bienestar-universitario/sistema-de-transporte-universidad-de-la-sabana/tren-de-la-sabana/>
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de Revistas Uniandes: <http://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.7440/histcrit14.1997.08>
- VIAJES. (15 de 04 de 2018). <http://www.buscounviaje.com/como-es/boston-us>. Obtenido de <http://www.buscounviaje.com/como-es/boston-us>

WIKIMEDIA COMMONS. (09 de 04 de 2018). *WIKIMEDIA COMMONS*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MBTA_Park_Street_station,_Red_Line_platform.jpg

Wilson, D. (s.f.). *FLICKR*. Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/davidwilson1949/4383208111/in/photostream/lightbox/>

Xataka. (27 de Agosto de 2012). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/automovil/tecnologia-para-el-coche-todo-sobre-la-tecnologia-hibrida>