

**PREFACTIBILIDAD PARA LA SELECCIÓN DE UN MODELO  
ELEVADO DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA AVENIDA BOYACÁ.**

**CARLOS EDUARDO MEDINA ACERO.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL.**

**DIRECTORA DE TESIS.**

**INGENIERA RUBBY STELLA PARDO PINZÓN.**

**JURADOS.**

**INGENIERO JOSE LUIS AREVALO DIAZ.**

**INGENIERO FERNANDO REY VALDERRAMA.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.**

**BOGOTÁ**

**2016.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN.**

---

---

---

---

---

---

---

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

**BOGOTA D.C AGOSTO DE 2016.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Este es el fruto del aporte de muchas personas que directa e indirectamente hicieron posible el desarrollo de uno de los capítulos más importantes de mi vida, especialmente agradezco aquellas personas que sin pedir nada a cambio me ayudaron y me brindaron más que su amistad para poder llegar a la cima de este arduo y largo camino que a pesar de muchas dificultades y preocupaciones fue el resultado de muy buenos comentarios y reconocimientos, es por eso que en los siguientes renglones los citare muy respetuosamente para plasmar mi gratitud y halago de forma cronológica.

-Yolanda Acero y Armando Medina. Mis padres, Gracias por brindarme la oportunidad para crecer tanto personal como profesionalmente y su apoyo constante durante cada día de mi vida.

-Jorge Luis García Cruz, amigo y excelente compañero de universidad que se ganó mi gratitud y respeto por su forma de ser y calidad de persona.

-Lorena Muñoz. Amiga y compañera de universidad, que gracias a sus grandes consejos, apoyo y entusiasmo, no podría olvidarla en los agradecimientos de este trabajo.

-Nicolás Pérez González. Amigo y compañero de la universidad, guerrero de grandes batallas y trabajos a lo largo de este proceso.

-Mateo Díaz. Una persona sin igual, un gran amigo con una excelente personalidad y actitud, el cual aportó grandes cosas en mi vida tanto personal como profesionalmente.

-Laura Rojas. Gran amiga y compañera de la universidad, una personalidad y actitud frente a la vida para destacar, una gran guerrera de adversidades que siempre salió en victoria y hoy en día es el resultado de su esfuerzo.

-Andrea Mendoza. Esta señorita es un cuento aparte, con una gran personalidad fuera de lo normal y gracia excepcional, amiga y compañera de la universidad con la que compartí grandes trabajos en compañía de Mateo Díaz y Laura Rojas, que se destacó por ser una señorita responsable e inteligente, un ejemplo de admirar.

-David Acosta Rodríguez, Jasson Villamarin Ramirez, Carlos Danilo Ávila Alarcón, Mario Pradilla, Giovanny Infante, Todos ellos son el claro ejemplo que las personas que conoces al final del camino son las que realmente aportan algo importante para tu vida.

-Diana Guerrero y Diana Méndez. (Ingenieras residentes de Conconcreto), más que compañeras de trabajo, excelentes personas, que con su apoyo y consejos incondicionales para mi vida, fueron el motor para la toma de decisiones importantes

## **AGRADECIMIENTOS.**

-Ingeniero Fernando Rey Valderrama. Gran persona y profesional, para mí es un halago que haya formado parte de esto, quien me brindó la oportunidad de tener mi primera experiencia laboral en una importante empresa y colaborar en el desarrollo de un gran proyecto de infraestructura relacionado con el transporte de carga y pasajeros de Bogotá-La Caro- Belencito.

-Ingeniero Julián Plazas: (Director de Rinoq SAS) Mi primer jefe formal, quien me enseñó y fortaleció mi experiencia en el mundo laboral, con su apoyo realice actividades de complejidad, que no cualquier persona a mi corta edad y experiencia estaba dispuesta a realizar, quien cambió mi perspectiva de vida y quien fue una de las personas que a través de sus consejos de superación aportó indirectamente en el resultado de este trabajo.

-Ingeniero Juan Jesús Villalobos: (Director Oficina Técnica Concreto) Más que un Jefe fue un Hermano Mayor, gracias a él tuve la oportunidad de poder entrar a una de las constructoras más grandes de Colombia, y a uno de los proyectos más importantes y de complejidad, quien me enseñó la esencia del verdadero ingeniero civil, y que a pesar del estado en el que me encontraba profesionalmente, siempre fue una de las personas que me apoyó en el avance de mi trabajo de grado. Y gracias a sus permisos, consejos y charlas constructivas, fue posible cerrar este capítulo de mi vida.

-Ingeniera Rubby Pardo. Columna vertebral en el direccionamiento y desarrollo en este largo proceso, más que mi directora de tesis, es una gran profesional y excelente persona. Su paciencia, disposición y buen carácter hizo posible que una idea que inicialmente era tan descabellada enfocada en el área de transportes, resultó siendo un tema integral, tomando en cuenta procesos constructivos, estadísticas, proyecciones, métodos de viabilidad, cambiando la perspectiva standard de un trabajo de grado.

-Ingeniero José Luis Díaz. Hay quienes dicen que lo mejor queda para el final, aunque a lo largo de mi carrera fui su estudiante en dos de sus materias, realmente tuve la oportunidad de conocerlo al final de este proceso, en donde me lleve la idea que el desarrollo de este trabajo iba a ser arduo y difícil por su gran conocimiento y evaluación de trabajos de grado de nivel de maestría, pero esta perspectiva cambió cuando fue parte fundamental en el redireccionamiento y aterrizaje objetivo en el desarrollo de la temática, en donde las revisiones de 5 minutos se convertían en charlas amenas y constructivas de aproximadamente de una hora gracias a su disposición y atención.

Gracias a ustedes soy lo que soy hoy en día...



## **DEDICATORIA.**

***“A lo largo de nuestras vidas conocemos a muchas personas, pero solo unas pocas aportan algo significativo para tu vida”***

*Carlos Eduardo Medina Acero.*

***Dedico cada hora, minuto y segundo que fue dedicado para el desarrollo de este trabajo, a Dios, a mis padres, abuelos, hermanas y familiares, como agradecimiento a su apoyo incondicional.***

## **TABLA DE CONTENIDO**

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                                        | 1  |
| 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                            | 2  |
| 3. JUSTIFICACIÓN.....                                                                       | 3  |
| 4. OBJETIVOS. ....                                                                          | 5  |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                                   | 5  |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                              | 5  |
| 5. SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO EN EL MUNDO. ....                                         | 6  |
| 5.1 ANTECEDENTES HISTORICOS. ....                                                           | 6  |
| 5.1.1 HISTORIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL MUNDO. ....                                     | 6  |
| 5.1.2 HISTORIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN BOGOTÁ D.C.....                                    | 8  |
| 5.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO DE PASAJEROS.....                                        | 14 |
| 5.2.1 ¿QUE SON Y COMO FUNCIONAN? .....                                                      | 14 |
| 5.2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO EN EL MUNDO. ....                                      | 16 |
| 5.2.2.1 MONORRIEL CHIBA – JAPÓN.....                                                        | 16 |
| 5.2.2.2 MONORRIEL SHONAN – JAPÓN.....                                                       | 18 |
| 5.2.2.3 MONORRIEL WUPPERTAL – ALEMANIA.....                                                 | 20 |
| 5.2.2.4 INNOVIA MONORRIEL 300, SAO PAULO, BRASIL. ....                                      | 23 |
| 6. EL TRANSPORTE DEL SIGLO XXI.....                                                         | 25 |
| 6.1 CONTEXTO POBLACIONAL DE BOGOTA.....                                                     | 32 |
| 6.2 CONTEXTO POBLACIONAL AVENIDA BOYACÁ. ....                                               | 36 |
| 6.3 MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN BOGOTÁ. ....                                             | 37 |
| 7. CORREDOR AVENIDA BOYACA.....                                                             | 42 |
| 7.1 ¿QUE FACTORES INTERVIENEN EN LA PROBLEMÁTICA DE MOVILIDAD<br>EN LA AVENIDA BOYACA?..... | 46 |
| 7.1.1 INSEGURIDAD. ....                                                                     | 47 |
| 7.1.2 CRECIMIENTO URBANO Y COMERCIAL.....                                                   | 50 |
| 7.1.3 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOR (CARROS).....                                           | 52 |
| 7.1.4 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR (MOTOS). ....                                         | 52 |
| 7.1.5 ACCIDENTALIDAD DE LOS CICLISTAS. ....                                                 | 56 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.6 OTROS MEDIOS DE TRANSPORTE EN CRECIMIENTO.....                                 | 59  |
| 7.1.7 TRANSPORTE PÚBLICO OBSOLETO.....                                               | 60  |
| 7.1.8 TRANSPORTE DE CARGA.....                                                       | 63  |
| 7.1.9 IMPRUDENCIA Y FALTA DE CULTURA CIUDADANA.....                                  | 63  |
| 8. VIABILIDAD TÉCNICA DE UN SISTEMA ELEVADO DE TRANSPORTE PÚBLICO.....               | 65  |
| 8.1 SISTEMAS ELEVADOS Vs SISTEMAS CONVENCIONALES A NIVEL, DE TRANSPORTE PÚBLICO..... | 65  |
| 8.1.1 INFRAESTRUCTURA.....                                                           | 65  |
| 8.1.2 CAPACIDAD DE PASAJEROS.....                                                    | 72  |
| 8.1.3 VELOCIDAD.....                                                                 | 76  |
| 8.1.4 COSTO DE VIAJE.....                                                            | 78  |
| 8.1.5 SEGURIDAD.....                                                                 | 80  |
| 8.1.6 CONTAMINACIÓN.....                                                             | 83  |
| 8.1.7 MANTENIMIENTO.....                                                             | 85  |
| 8.1.8 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.....                                        | 89  |
| 8.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD TÉCNICA.....                           | 94  |
| 9. SIMULACIÓN TEÓRICA DEL SISTEMA ELEVADO DE PASAJEROS.....                          | 102 |
| 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                              | 110 |
| 11. ANEXOS.....                                                                      | 123 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA.....                                                                | 135 |

## TABLA DE FIGURAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1. Tranvía halado por mulas en Bogotá.....                | 8  |
| FIGURA 2. Atlas Histórico de Bogotá. Cartografía. 1791-2007..... | 9  |
| FIGURA 3. Clasificación de los Monorrieles por Longitud.....     | 15 |
| FIGURA 4. Vista en planta Monorriel.....                         | 16 |
| FIGURA 5. Estaciones Monorriel Chiba – Japón.....                | 17 |
| FIGURA 6. Monorriel suspendido de Chiba.....                     | 17 |
| FIGURA 7. Trazado Monorriel suspendido de Shonan.....            | 18 |
| FIGURA 8. Monorriel Shonan.....                                  | 19 |
| FIGURA 9. Monorriel Wuppertal AÑO 1901.....                      | 20 |
| FIGURA 10. Monorriel Wuppertal.....                              | 21 |
| FIGURA 11. Trazado Monorriel Wuppertal.....                      | 22 |
| FIGURA 12. Monorriel Sao Paulo, Brasil.....                      | 23 |
| FIGURA 13. Infograma. Monorriel Sao Paulo, Brasil.....           | 24 |
| FIGURA 14. Estambul, Turquía.....                                | 27 |
| FIGURA 15. Ciudad de México, México.....                         | 27 |
| FIGURA 16. Rio de Janeiro.....                                   | 28 |
| FIGURA 17. Moscú, Rusia.....                                     | 28 |
| FIGURA 18. Salvador, Brasil.....                                 | 29 |
| FIGURA 19. Recife, Brasil.....                                   | 29 |
| FIGURA 20. San Petersburgo, Rusia.....                           | 30 |
| FIGURA 21. Bucarest, Rumania.....                                | 30 |
| FIGURA 22. Varsovia, Polonia.....                                | 31 |
| FIGURA 23. Los Ángeles, Estados Unidos.....                      | 32 |
| FIGURA 24. Traffic Index. (Índices de Trafico- TomTom).....      | 32 |
| FIGURA 25. Movilidad de Bogotá.....                              | 34 |

## TABLA DE FIGURAS

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 26. Mapas de movilidad según percepción ciudadana.....                      | 35 |
| FIGURA 27. Proyección de población de Bogotá al año 2046.....                      | 36 |
| FIGURA 28. Proyección Localidades Av. Boyacá al año 2046.....                      | 37 |
| FIGURA 29. (BRT) Transmilenio.....                                                 | 38 |
| FIGURA 30. Bus urbano Zonal (SITP).....                                            | 39 |
| FIGURA 31. Buses, microbuses, colectivos.....                                      | 39 |
| FIGURA 32. Servicio de Taxis Bogotá.....                                           | 40 |
| FIGURA 33. Servicio VIP (UBER).....                                                | 41 |
| FIGURA 34. Bicitaxis.....                                                          | 41 |
| FIGURA 35. Trazado Avenida Boyacá.....                                             | 42 |
| FIGURA 36. Tramo1 Yomasa al Portal Tunal.....                                      | 43 |
| FIGURA 37. Tramo2 Portal Tunal-Calle 39 Sur.....                                   | 43 |
| FIGURA 38. Tramo3 Calle 39 Sur-Calle22.....                                        | 44 |
| FIGURA 39. Tramo4 Calle 22-Calle 127.....                                          | 44 |
| FIGURA 40. Tramo4 Calle 22-Calle 127.....                                          | 45 |
| FIGURA 41. Calle 127- Calle 138.....                                               | 45 |
| FIGURA 42. Congestión Av. Boyacá sector la Felicidad 6:30Am.....                   | 46 |
| FIGURA 43. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá.....                          | 47 |
| FIGURA 44. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Autopista Sur).....          | 48 |
| FIGURA 45. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. El dorado).....          | 48 |
| FIGURA 46. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Calle 13).....               | 49 |
| FIGURA 47. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. Americas).....           | 49 |
| FIGURA 48. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. Primera de Mayo).....    | 49 |
| FIGURA 49. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Canal de Aguas Iluvias)..... | 50 |
| FIGURA 50. Futuros proyectos AV. Boyacá.....                                       | 50 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 51. Crecimiento Comercial AV. Boyacá.....                                                                           | 51 |
| FIGURA 52. Motocicletas en Bogotá.....                                                                                     | 53 |
| FIGURA 53. Fallecidos en las vías de Bogotá.....                                                                           | 54 |
| FIGURA 54. Motocicletas en Vietnam.....                                                                                    | 55 |
| FIGURA 55. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá.....                                                                      | 57 |
| FIGURA 56. Bicicletas a motor.....                                                                                         | 60 |
| FIGURA 57. Calidad del servicio.....                                                                                       | 61 |
| FIGURA 58. Satisfacción del estado físico del servicio público de Bogotá.....                                              | 62 |
| FIGURA 59. Precaución al volante del transporte Publico.....                                                               | 62 |
| FIGURA 60. Aforos de tráfico de Carga en Bogotá.....                                                                       | 63 |
| Figura 61. Tipología Anchos de Carril transversal Av. Boyacá – Transmilenio.....                                           | 66 |
| Figura 62. Diseños Tramos trasversales Av. Boyacá – Transmilenio.....                                                      | 66 |
| Figura 63. Tipología Diseños Tramos trasversales Av. Boyacá – Transmilenio.....                                            | 67 |
| Figura 64. Ancho transversal de vía Monorriel suspendido de Wuppertal Alemania.....                                        | 68 |
| Figura 65. Ancho transversal de vía Monorriel suspendido de Chiba – Japón.....                                             | 69 |
| Figura 66. Estructura Monorriel elevado de Sao Pablo - Brasil.....                                                         | 70 |
| Figura 67. Estructura Monorriel elevado de Sao Pablo - Brasil.....                                                         | 70 |
| Figura 68. Ocupación del espacio Urbano Sistemas Elevados Vs Superficie.....                                               | 71 |
| Figura 69. Capacidad Bus Rapid Transport (BRT).....                                                                        | 72 |
| Figura 70. Ocupación espacial de los Buses en La Avenida Boyacá.....                                                       | 73 |
| Figura 71. Optimización de espacio vial- Número de personas que pueden circular cada hora por ancho de carril de 3,5m..... | 75 |
| Figura 72. Inseguridad en Transmilenio.....                                                                                | 81 |
| Figura 73. Percepción de inseguridad en el sistema de transporte público.....                                              | 82 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 74. Nivel de ruido Vs Velocidad vehículo.....                                    | 84  |
| Figura 75. Fallas losas de Transmilenio.....                                            | 85  |
| Figura 76. Costos de los mantenimientos correctivos en el Tiempo.....                   | 86  |
| Figura 77. Mantenimiento Estructura Monorriel Wuppertal-Alemania.....                   | 87  |
| Figura 78. Vehículos de mantenimiento Monorriel de Tokio.....                           | 88  |
| Figura 79. Debate Metro de Bogotá - Aurelio Suárez Montoya.....                         | 90  |
| Figura 80. Distribución de costos de un sistema monorriel elevado.....                  | 92  |
| Figura 81. Porcentaje de la distribución de costos de un sistema monorriel elevado..... | 93  |
| Figura 82. Escala fundamental de valoración usada en el método AHP.....                 | 94  |
| Figura 83. Resultados de viabilidad usando la metodología AHP.....                      | 101 |
| Figura 84. Volúmenes de horas pico proyectadas al 2021 sentido SUR-NORTE.....           | 102 |
| Figura 85. Volúmenes de horas pico proyectadas al 2021 sentido NORTE-SUR.....           | 102 |
| Figura 86. Origen-Destino de viajes en Transporte Publico al Año 2010.....              | 104 |
| Figura 87. Origen-Destino de viajes en Transporte Publico al Año 2018.....              | 105 |

## **ÌNDICE DE TABLAS.**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1. Especificaciones Técnicas Monorriel Wuppertal.....                                | 22 |
| TABLA 2. Ranking de las ciudades con el peor tráfico del mundo.....                        | 26 |
| TABLA 3. Proyección Localidades Av. Boyacá al año 2046.....                                | 37 |
| TABLA 4. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá acorde a la infraestructura disponible..... | 58 |
| TABLA 5. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá acorde a la imprudencia.....                | 58 |
| TABLA 6. Matriz de Viabilidad Técnica “Infraestructura”.....                               | 95 |
| TABLA 7. Matriz de Viabilidad Técnica “Capacidad de Pasajeros”.....                        | 95 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 8. Matriz de Viabilidad Técnica “Velocidad promedio”.....                      | 96  |
| TABLA 9. Matriz de Viabilidad Técnica “Costo de Viaje”.....                          | 97  |
| TABLA 10. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Seguridad”.....                | 97  |
| TABLA 11. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Contaminación”.....            | 98  |
| TABLA 12. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Mantenimiento”.....            | 99  |
| TABLA 13. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Mantenimiento”.....            | 99  |
| TABLA 14. Matriz de Viabilidad Técnica “Matriz de jerarquización multicriterio”..... | 100 |
| TABLA. 15. Matriz de Viabilidad Técnica “Matriz de jerarquización”.....              | 100 |
| TABLA 16. Matriz Origen-Destino Av. Boyacá.....                                      | 103 |



## **1. INTRODUCCIÓN.**

El presente trabajo esta principalmente enfocado a dar una posible solución al transporte público de pasajeros en la ciudad de Bogotá, específicamente en el tramo de la avenida Boyacá, siendo uno de los principales corredores de la capital, el cual presenta infinidad de falencias tanto en infraestructura y organización en materia de transporte público, esto debido a que diariamente se presentan problemas de movilidad, congestión, accidentalidad, e inseguridad por la falta de un modelo de transporte eficiente que ayude a mitigar la mayoría de los incidentes que se presentan día a día por este corredor de la capital.

El cuerpo de trabajo de este proyecto se desarrollará bajo la conceptualización de un modelo de transporte público de tipo elevado ó suspendido el cual se definirá a lo largo del trabajo de investigación dependiendo de la necesidad de la población específica y la viabilidad del espacio físico en donde se pretende conceptualmente implementar este modelo de transporte público.

Bajo la conceptualización de este modelo, se pretende demostrar y profundizar la viabilidad técnica en términos de sostenibilidad (económica, social y ambiental), de estos tipos de sistemas de transporte público, como respuesta al desarrollo de un plan de contingencia a la problemática de movilidad en Bogotá.

La investigación y desarrollo de este trabajo, está enmarcado dentro los fundamentos de la ingeniería de tránsito y los lineamientos de movilidad sostenible, en donde se realizara un estudio estadístico de las variables fundamentales que inciden en la problemática de movilidad de este corredor y así mismo identificar los elementos teóricos necesarios para el alcance de los objetivos propuestos en este proyecto.

De igual modo se analizaran los pros y los contras en otros países, donde ya se han implementado estos tipos de transporte, y sus experiencias, donde se definirán los lineamientos a tener en cuenta como base guía en el análisis de la prefactibilidad del corredor escogido como objeto del estudio.

En la etapa final de este proyecto, se concluirá con el modelo más adecuado a implementar dentro del corredor anteriormente mencionado Av. Boyacá, con las recomendaciones pertinentes como resultado de un modelo de transporte público de pasajeros sostenible e intermodal con los demás modos de transporte público de Bogotá.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La movilidad es uno de los grandes problemas urbanos del siglo XXI, Ciudades como Yakarta-Indonesia, Estambul-Turquía, Ciudad de México-México, Surabaya-Indonesia, San Petersburgo-Rusia, Moscú-Rusia, Roma-Italia, Bangkok-Tailandia, Guadalajara-México, Buenos Aires-Argentina, con el peor transito del mundo<sup>1</sup> y por lo tanto se requiere el planteamiento de alternativas innovadoras y sustentables.

Los principales factores que han llevado al colapso en la movilidad de estas ciudades, son la falta de planeación para la construcción de infraestructura suficiente, el incremento del parque automotor de vehículos y motos, la implementación de sistemas obsoletos de transporte urbano y la falta de cultura ciudadana.

Bogotá es una de las principales ciudades con mayor desarrollo en Colombia y Latinoamérica, con alrededor de 7'878.783 habitantes al 2015 (Censo realizado año 2005, proyección del DANE), este crecimiento exponencial demográfico ha desbordado la capacidad del sistema de transporte para garantizar la movilidad de buena parte de la población.

Durante los últimos años Bogotá ha sufrido un cambio significativo en su ordenamiento territorial, dando lugar al crecimiento poblacional desordenado sobre toda el área metropolitana existente y sus alrededores, convirtiéndose en el punto de llegada de la mayor parte de la población que se desplaza hacia la capital por diversas razones.

Hoy en día los municipios aledaños a Bogotá se han ido urbanizando significativamente de tal manera que todos sus habitantes necesitan desplazarse por sectores específicos de la capital para suplir sus necesidades de estudio y trabajo entre otros, de tal manera que el transporte disponible se está viendo afectado por la sobrepoblación en las principales horas de saturación (horas pico), en donde todos los modos de transporte se ven afectados por el caos y la falta de un sistema eficiente, cómodo, digno, rápido, auto sostenible e innovador, que supla las necesidades de movilidad que demanda toda la población.

El problema del transporte y movilidad en Bogotá, se está convirtiéndose en una de las causas del incremento del parque automotor, lo cual conlleva al deterioro de la maya vial existente, el aumento de la accidentalidad y de la delincuencia en las principales vías de la capital.

---

<sup>1</sup>Estudio realizado por Castrol Magnatec (fabricante de lubricantes para automóviles) y TomTom (fabricante de dispositivos de cartografía y GPS) año 2014.

### 3. JUSTIFICACIÓN.

Bogotá como muchas otras grandes urbes urbanas del siglo XXI se están enfrentando a la problemática de movilidad, a causa del aumento exponencial de su población, en donde la infraestructura existente no es suficiente para la demanda de usuarios que se desplazan diariamente por las principales vías y arterias de la ciudad.

Aunque en la capital existen proyectos y normativas enfocadas al desarrollo de la movilidad que pretenden dar solución a esta problemática, aún no han sido suficientes, y es necesario plantear alternativas innovadoras y vanguardistas para la mitigar la problemática de movilidad que afronta Bogotá.

En países del continente Europeo y Asiático se están llevando acabo nuevos conceptos de transporte sostenible, con la implementación de sistemas elevados de transporte público, convirtiéndose en un sistema óptimo, eficiente y sostenible, que es complementario con los demás sistemas de transporte existentes.

El presente trabajo tiene como objetivo la conceptualización de un sistema de transporte elevado de pasajeros moderno, eficiente y económico para la ciudad de Bogotá, el cual pueda aportar una solución a la problemática del sistema de transporte publico actual de la capital, que día a día ha ido colapsando debido a la demanda de pasajeros sentido Norte – Sur y viceversa en los horarios de máxima demanda.

Uno de los ejemplos más representativos del colapso y sobre carga del sistema de transporte público en Bogotá fue la apertura del corredor del sistema transmilenio de Soacha, donde se evidencio que el volumen y la demanda de pasajeros era mayor a la capacidad del sistema en este tramo, ver (Figura 1), de esta manera se demuestra que transmilenio no es la solución y la columna vertebral de toda la movilidad de Bogotá y sus alrededores, ya que las falencias en materia de transporte como: logística, información, acceso y seguridad fueron y son hasta el día de hoy los problemas más frecuentes de los pasajeros que se desplazan diariamente por este corredor<sup>2</sup>.

Según lo anterior, con la propuesta e implementación de un sistema de transporte elevado se pretende plantear una alternativa a tener en cuenta, siguiendo los

---

<sup>2</sup> Revista Semana. Soacha Rompiendo Estigmas: “El séptimo municipio más poblado de Colombia entrada estratégica de Bogotá por el sur, busca definir su condición de ciudad. Para lograrlo debe superar grandes y complejos desafíos”. Bogotá. Agosto de 2015. p. 15.

criterios técnicos, ambientales y sociales del transporte sustentable, tal como se ha venido desarrollando en Japón, Alemania y Dubái.

#### **Estación San Mateo 4:30 AM**



**Fuente:** Video YouTube, "Desespero, tumultos y empujones: El día a día en transmilenio, Ana María García, Julián I. Espinosa Rojas<sup>3</sup>.

Es por eso que Bogotá necesita una nueva perspectiva de movilidad eficiente, en donde realmente exista una cultura ciudadana enfocada al uso del transporte público y no al uso del vehículo particular como se hace en otros países del mundo como; Alemania, Francia, Suiza entre otros. Un verdadero sistema de transporte que sea la solución y ejemplo de un sistema de transporte intermodal, que no genere costos inimaginables de construcción ni operación, un sistema auto sostenible que sea el engranaje de todos los demás modos de transporte público, dando lugar a nuevos proyectos y sistemas que se acoplen al mismo, generando un verdadero sistema de transporte de pasajeros, con una cobertura del 99% del área disponible existente para la movilidad que necesita la capital, y no súper mega obras de grandes costos y demoras en su construcción y ejecución.

Por lo anterior, es importante plantear nuevas alternativas sostenibles a los actuales sistemas de transporte público en Bogotá.

---

<sup>3</sup> GARCIA, Ana (Autor) & ESPINOSA, Julian (Director),(2014). Desespero, tumultos y empujones: El día a día en transmilenio [Video Online]. Bogota D.C. Dirección. <https://www.youtube.com/watch?v=r2ZZUV-nKzI>

#### **4. OBJETIVOS.**

##### **4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Seleccionar a nivel de prefactibilidad un modelo elevado de transporte público para la implementación en la Avenida Boyacá.

##### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Analizar los diferentes modelos de transporte elevado en el mundo.
2. Determinar los factores que inciden en la problemática de la movilidad en la Avenida Boyacá.
3. Determinar la viabilidad técnica de un sistema elevado de transporte público de un sistema de transporte colectivo convencional.
4. Definir el modelo de transporte público más apropiado para la Avenida Boyacá, mediante la recolección y validación de información, para estimar la operación teórica de pasajeros en el tramo de la Avenida Boyacá.

## **5. SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO EN EL MUNDO.**

En este capítulo se describe los diferentes modelos de transporte público de tipo elevado, como una nueva alternativa de transporte sostenible, y en respuesta a la problemática que se ha ido generando a nivel mundial con el aumento del tráfico y la contaminación. También se hace una reseña general de los modos de transporte público de tipo elevado ó suspendido, que ya son una realidad en algunos países con la implementación de nuevas tecnologías y sistemas inteligentes de transporte público.

### **5.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.**

#### **5.1.1 HISTORIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL MUNDO.**

En la historia del hombre la necesidad del desplazamiento ha sido una actividad por naturaleza de todos los seres vivos para suplir ciertas necesidades como la búsqueda de alimento, refugio, y exploración de nuevos lugares, así mismo la evolución del hombre conllevó a optimizar esta actividad hasta el surgimiento de los primeros caminos ó superficies, mejorando el desplazamiento de los pueblos Egipcios, estos primeros caminos fueron contruidos en piedra y material rocoso a causa de la invención de la rueda como elemento fundamental de los primeros carruajes para el transporte de carga, y materias primas para la construcción de sus majestuosas pirámides.

Durante el paso de los siglos el hombre y su historia, interconectó regiones y ciudades por medio de los primeros vehículos de “tracción animal”, ya que en ese entonces el hombre no poseía la suficiente fuerza para cargar y transportar alimentos para su propio beneficio, por tal motivo el hombre se vio en la necesidad de domesticar a los animales como un modo de transporte personal y de provisiones.

Entre los siglos IX en donde la economía, las guerras e invasiones se encontraban en completo auge, y el siglo X con el aumento demográfico y la influencia del comercio, el desplazamiento se convirtió en una necesidad inherente para todas las personas de la época, como el primer indicio de demanda a causa de los grandes movimientos económicos, dando origen al desarrollo y construcción de nuevos caminos con el aumento de los viajes.

En el siglo XII, a causa del desarrollo de las ciudades y su crecimiento, surgieron los primeros modelos de organización geométrica, los cuales vinculaban los lugares estratégicos, específicamente relacionados con el comercio, su diseño fue básicamente el de calles angostas agrupadas en cuadrículas ortogonales<sup>4</sup>.

Con la llegada de los conquistadores españoles a mediados del siglo XVI en América, se dio inicio a la construcción de los primeros caminos para la colonización y explotación de recursos.

En el Siglo XVIII, como inicio de la época moderna, se implementan las primeras estrategias de tránsito con la implementación de cobro de peajes, para la conservación y mantenimiento de los primeros caminos que ya empezaban a deteriorarse a causa del aumento del tráfico de mercancías en Europa.

Simultáneamente en Estados Unidos, se da inicio al desarrollo e implementación de infraestructura enfocada a la interconexión de puntos estratégicos en todo el territorio, como el fortalecimiento de la economía a través de la industria y el comercio.

Con la invención del vehículo a motor, con fines de uso privado, se dio origen a los primeros problemas de tránsito urbano, y el surgimiento de los vehículos de transporte público como los tranvías y metros, los cuales se desarrollaron en la segunda mitad del siglo XIX.

Con el auge del transporte a través de la historia, se implementan los primeros metros y trenes subterráneos, el primero en su clase nació en Londres aproximadamente el 10 de Enero de 1863, desde ese entonces Gran Bretaña se convirtió en uno de los países insignias del comercio y transporte de mercancías, que años después fue implementado en ciudades como Nueva York y Chicago a mediados de los años 1867 y 1882 respectivamente.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> CAL Y MAYOR. Rafael; CARDENAS. James, Ingeniería de tránsito – Fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega, 1994. p. 4.

<sup>5</sup> CAL Y MAYOR. Rafael; CARDENAS. James, Ingeniería de tránsito – Fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega, 1994. p. 6

### 5.1.2 HISTORIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN BOGOTÁ D.C.

Bogotá como cualquier ciudad del mundo es una ciudad de contrastes y diferencias que a lo largo del tiempo han generado la necesidad del desarrollo y crecimiento del territorio y de su población. Durante estas etapas de transición y desarrollo, se han venido implementado estrategias y planes con el fin de tomar las medidas más apropiadas para el mejoramiento de la capital en temas de infraestructura, movilidad, cambio climático, ordenamiento territorial, desarrollo social y económico.

El transporte urbano de Bogotá se formalizó legalmente con la ley 30 de 1881, que fue expedida por el estado soberano de Cundinamarca, concediendo por primera vez privilegios a los tranvías urbanos; gracias a esta ley, el 30 de Septiembre de 1882 se celebró el primer contrato de transporte público, llamado el “Ferrocarril de sangre” este modo de transporte era muy peculiar, ya que era un tranvía halado por dos mulas, el cual se movilizaba por los principales sectores del centro de la ciudad, cuando su recorrido finalizaba en la terminal, se volteaban los espaldares de las sillas y las mulas se pasaban al otro extremo del tranvía para así realizar su viaje de regreso; este sistema de transporte opero hasta 1952, y fue uno de los primeros medios de transporte de la capital<sup>6</sup>.

**Figura 1. Tranvía halado por mulas en Bogotá.**



**Fuente:** [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)

En 1923, Bogotá inicia su organización con base a los principales ejes viales y formándose las principales localidades como Chapinero, siendo el foco de la ciudad hacia el Norte. Desde ese entonces la ciudad inicia su desarrollo hacia los ejes Norte – Sur, de una forma alargada con una concentración urbana en el sector de central.

Con el Acuerdo 74 de 1925 llamado el plan “futuro”, se dictan las primeras medidas de desarrollo, con la expansión del área urbana de una manera considerable, y el trazado de la malla vial, con una geometría diagonal a distancias comprendidas

---

<sup>6</sup> CARMAGO TRIANA, William. Destino capital movilidad Sostenible. Bogotá D.C, Secretaria distrital de planeación, 2009. p. 14-15.



entre los 600 y 700 metros con ángulos de giro de 45°, contemplando la ubicación espacial de plazoletas, parques y servicios en las intersecciones de la malla vial, siendo los primeros diseños y definiciones de ancho de vías, mediante de fórmulas de tráfico y los primeros conceptos de área construida versus área libre<sup>7</sup>.

En 1933, la ciudad se sigue expandiendo hasta llegar a la actual carrera 30, que se convierte en el primer límite hacia el occidente de la ciudad, con una gran influencia de urbanismo hacia la zona sur occidental.

En 1936, surge el plan Karl Bruner, gracias a los primeros indicios de crecimiento como metrópoli, que contaba con más de 270.000 habitantes, surgiendo ya la necesidad de políticas que controlaran y regularan el crecimiento premeditado, creándose el primer departamento de urbanismo, cuyo principal objetivo fue el desarrollo del primer esquema grafico ó plano regulador para la ciudad, con el surgimiento de las primeras ideas de Avenidas como la carrera 7ª, Av caracas y Jiménez.

En 1944 se conoció el plan Soto-Bateman, como el primer plan de ordenamiento territorial de Bogotá, en el cual se definieron muchos proyectos viales, con la finalidad de extender geográficamente la ciudad, tomando como referencia los ejes Norte – sur y Oriente – Occidente.

**Figura 2. Atlas Histórico de Bogotá. Cartografía. 1791-2007**



**Fuente:** Sánchez Cuellar Marcela, Pavony Mejía Germán. 2007.

El anterior plano se aprobó con el Acuerdo 21 de 1944, dividiendo el área de Bogotá en zonas “cívico-comerciales”, residencias, céntricas, zonas residenciales,

---

<sup>7</sup> SالدARRIAGA, Roa Alberto. “Bogotá, siglo XX. Urbanismo, arquitectura y vida urbana”. DAPD. Bogotá, 2000

industriales, mixtas, barrios obreros y zonas verdes de reserva; esta zonificación buscaba principalmente la valorización de ciertas zonas.

**El Plan SCA Y PROA 1945-1948**, contemplaba la ampliación de algunas vías como la carrera 14 y la 10ª, la inauguración de la Avenida Las Américas y la Avenida Comuneros, destacando las siguientes vías como principales proyectos de infraestructura:

- -La conexión Norte – Sur.
- -Ampliación carrera 7 y 13.
- -Conexión Oriente – Occidente.
- -Av. Américas
- -Ferrocarril perimetral.

**Plan piloto LE CORBUISIER 1951**<sup>8</sup>, como eje temático que se enfocaba en la zonificación teórica del sector (usos del suelo), para una proyección de 1'500.000 habitantes en el año 2.000, se reconoció al automóvil como prioridad y desarrollo de la edificación de la zona centro.

**Plan piloto de 1957.** Se crea el Distrito Especial de Bogotá gracias a la unión de los municipios de Usme, Fontibón, Engativá, Suba y Usaquén; esto condujo la planificación del espacio metropolitano, ampliando el perímetro urbano de la ciudad conservando la zonificación urbana:

- Apertura de la carrera 10ª hacia el sur.
- Prolongación de la carrera 30, desde la intersección de las Américas hacia el norte.
- Ampliación de la calle 13 al occidente
- Diseño de la avenida de los cerros.

**Plan distrital 1961.** Con el cual se amplió la extensión de la malla vial de vías transversales y longitudinales y la interconexión de la Avenida Boyacá, Avenida El Dorado y el interés por generar movilidad y sistemas de transporte público para la ciudad, con la implementación de sistemas de rieles livianos y buses expresos con vías especiales, surgiendo el primer análisis de prelación al peatón.

**En 1979 – 1980**, se da lugar al Acuerdo 2 de 1980, donde los principales puntos a tener en cuenta son: satisfacer los requerimientos de movilidad de personas, haciendo el uso adecuado de la infraestructura vial existente, donde se adoptó el acuerdo de clasificación vial de V-0 a V-9, y se parametrizó el uso de aislamientos ó zonas verdes a lado y lado de la vía existente.

---

<sup>8</sup> Sert, Wiener, Las huellas del plan para Bogotá de le Corbusier, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona, Agosto 2006.

**Acuerdo 6 de 1990.** Establecía las jerarquías viales, las áreas para las vías del sistema general y el sistema masivo, los pasajes, puentes, túneles y obras competentes para la idoneidad del sistema vial.

**Decreto 619 del 2000.** El primer plan de ordenamiento territorial, el cual contemplaba la reestructuración del sistema vial para la puesta en marcha de un sistema masivo de transporte de pasajeros (transmilenio- troncales) y la primera línea del metro e introducción de la red vial de ciclo rutas, con el fin de:

- Articular el sistema vial con el del transporte público.
- Garantizar la eficiencia de la movilidad desde la periferia hasta el centro metropolitano.
- Clasificar y rediseñar las vías por sus funciones.
- El uso preferencial de transporte público sobre el privado.
- Implementar un sistema de transporte masivo.
- Garantizar la accesibilidad de la periferia.

**Decreto 190 del 2004 (POT).** El artículo 163 planteaba los principales objetivos de:

- -Conexión de las terminales de transporte.
- -Generar sistemas de movilidad sostenible.
- -Consolidar el área urbana.
- -Articular todos los modos de transporte con el aeropuerto.

**Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.** Enfocado en los planes de transporte municipales y distritales de la mano con el mejoramiento de la movilidad y del sistema de transporte público, contenidos en la ley 1151 de 2007. Debido a la dispersión geográfica de la población.

El plan de desarrollo también contemplaba el mejoramiento de la infraestructura actual, disminuyendo los tiempos y costos de desplazamiento hacia los centros urbanos y centros de acopio.

En términos de infraestructura se desarrollaron tres ejes temáticos muy importantes:

- Mejoramiento de la infraestructura para la competitividad y operación en términos de eficiencia y seguridad.
- Promover la integración cohesión territorial.
- Desarrollar y fortalecer los nodos de transferencia.

**El Acuerdo 308 de 2008**, se enfocaba en dar alcance a los proyectos de:

- Sistema de transporte público colectivo, con la finalidad de organizar las rutas de operación del transporte, disminuyendo la sobretasa de buses del servicio, al igual que integrar los sistemas de transporte público colectivo y masivo individual.
- Optimización de los sistemas de terminales: Poner en disposición y funcionamiento 3 terminales de pasajeros.
- Red de estacionamiento: Generar 453 cupos nuevos de parqueaderos públicos.
- **Metro: Contratar la primera fase del proyecto Metro.**
- Troncales de transmilenio: Operar 9 troncales y mantener el 65% de las troncales de transmilenio (465KM-Carril).

**Plan Maestro de Movilidad. Decreto 319 del 2006**, el cual orienta su alcance a:

- Movilidad sostenible: La movilidad como un derecho de las personas para contribuir con la calidad de vida.
- Movilidad Competitiva: La movilidad debe regirse por la efectividad en el uso de sus componentes para garantizar la circulación de las personas y de los bienes bajo criterios de logística integral.
- La prioridad del peatón: El peatón como eje fundamental de la movilidad.
- Racionalización del vehículo particular: El uso del vehículo particular debe racionalizarse teniendo en cuenta la ocupación vehicular y la demanda de viajes.
- Integración modal: los modos de transporte deben articularse para facilitar el acceso, la cobertura y la complementariedad del sistema de movilidad urbano, rural y regional.
- Movilidad inteligente: Uso de las tecnologías informáticas para una eficiente gestión del sistema de movilidad.
- Movilidad Social responsable: Los efectos negativos relacionados con la movilidad.
- Movilidad orientada a los resultados: La adopción de un modelo de gestión gradual es indispensable para lograr los objetivos del plan bajo un principio de participación.

Como se observa los planes y estrategias que se han implementado han evolucionado de acuerdo con las circunstancias y los cambios, pero el crecimiento acelerado de la población ha sobrepasado lo planeado, originando la problemática actual, que se sintetiza en:

- Implementación de rutas innecesarias de transporte de pasajeros.
- Falta de señalización.
- No existe una cultura ciudadana.

- Estancamiento (embotellamiento) entre articulados del sistema de transmilenio.
- Bloqueos por parte de los usuarios (colapso del sistema).
- Paraderos no deseados.
- Crecimiento del parque automotor.
- Crecimiento del parque de motocicletas.
- Falencias en el diseño de la infraestructura con respecto a la necesidad de las personas.
- Ineficiencia en las frecuencias de rutas.
- Incremento de la inseguridad.
- Desaprovechamiento de espacios potenciales de transporte masivo (canales de aguas lluvias, separadores de autopistas).
- Ineficiencia en la interconexión multimodal de transporte público en Bogotá.
- Deterioro de la malla vial.
- En promedio el desplazamiento de una persona a su lugar de destino es de una hora y media.
- El colapso de transmilenio en su capacidad y efectividad.
- En Bogotá no existe un sistema eficiente e innovador auto sostenible.
- Bogotá no posee un sistema digno de transporte de pasajeros.
- Aumento de la accidentalidad dentro de los sistemas de transporte.
- El taxi ya no es un sistema seguro de transporte, representa un mal servicio por parte de su gremio.
- Transmilenio dejó de ser un sistema eficiente de transporte de pasajeros, presenta embotellamientos en los puntos clave de interconexión como la estación “los héroes, calle 100, Ricaurte, entre otros puntos importantes.
- Deterioro de losas de concreto.
- Inconformidad de servicio de transmilenio por parte de los usuarios.
- Transmilenio no está exento de accidentes de tránsito.
- El mal servicio fomenta la imprudencia de los usuarios en el sistema.
- El SITP (sistema integrado de transporte) está sujeto a las afectaciones de tráfico como: protestas, choques, trancones.
- Estaciones de gasolina expiden gases e hidrocarburos que forman otros contaminantes perjudiciales para el medio ambiente.

## 5.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO DE PASAJEROS.

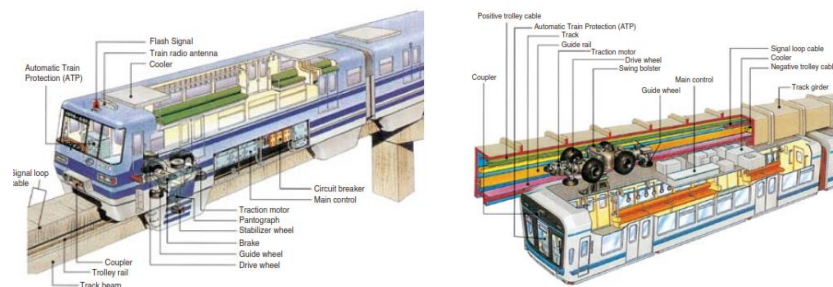
### 5.2.1 ¿QUE SON Y COMO FUNCIONAN?

Estos sistemas de transporte, están diseñados para tráfico medianos de pasajeros ó de carga, constituidos por vagones que se desplazan sobre vigas de concreto, metálicas ó mixtas de un solo riel, en el mundo existen varios sistemas de transporte de pasajeros de tipo suspendidos, elevados y a nivel, entre los más comunes.

Entre los sistemas de transporte de pasajeros de tipo elevado se pueden encontrar de dos clases: tranvías y monorrieles, estos dos sistemas de transporte prácticamente idénticos por su versatilidad, comodidad y seguridad son utilizados en ciudades urbanas como modelos de transporte sostenibles y amigables con el medio ambiente por sus características técnicas y ventajas para aquellas ciudades que únicamente cuentan con sistemas tradicionales transporte ineficientes para la demanda a la que se enfrentan en las horas pico.

Los tranvías ó trim-trams a diferencia del monorriel es un sistema de transporte de pasajeros que se desplazan sobre rieles paralelos, muchas veces incrustados en el pavimento, este sistema puede ser implementado a nivel ó elevado.

Los monorrieles suspendidos ó colgantes son sistemas de transporte poco comunes debido a su diseño, estos monorrieles se desplazan bajo un sistema de ruedas dentro de una viga guía, bien sea metálica, de concreto ó mixta, y son impulsadas por motores de inducción lineal ó sistemas eléctricos, este sistema de transporte cuenta con la posibilidad de ser conducido por personas ó automatizado por sistemas inteligentes de última generación. Esta tecnología ha sido desarrollada principalmente por Mitsubishi Heavy Industries, y la compañía francesa SAFEGE, como los principales diseñadores<sup>9</sup>.



Fuente. Types of Monorail Systems, Japan Monorail Association Guide.

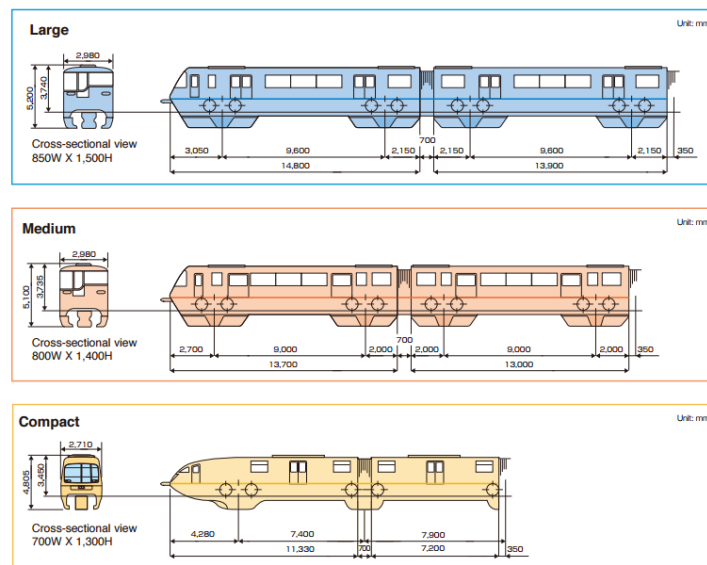
<sup>9</sup> Discovery tu mundo. Monorrieles colgantes en Japón, trenes suspendidos en el aire. [Online]. [citado 07 Febrero 2016] Disponible en: <<http://discoverytumundo.blogspot.com.co/2015/01/increibles-monorrieles-colgantes-en.html>>

Los Monorrieles se clasifican en: grandes, medianos, y compactos en función del tamaño de los coches ó vagones, según la escala general de monorrieles.

Los monorrieles grandes y medianos están diseñados para satisfacer la demanda de usuarios de grandes áreas metropolitanas, y son especialmente eficaces en las horas de máxima demanda para la descongestión de los demás modos de transporte existentes. Tales sistemas se han desplegado por todo Japón y tienen un historial basado en un modelo de operación rentable para el transporte público, como se ha visto en las ciudades de Tokio, Osaka y Kitakyushu.

Estos sistemas son los más adecuados para tramos en donde la demanda de pasajeros es más de **20,000pphd** (pasajeros por hora por dirección), y pueden transportar más de **125.000 pasajeros al día**<sup>10</sup>

**FIGURA 3. Clasificación de los Monorrieles por Longitud.**



Fuente. Japan Monorail Association Guide: "Types of Monorail Systems". Japón. 2005. p. 05

El monorraíl compacto principalmente fue desarrollado como una versión simplificada de su contraparte más grande, con una reducción significativa en relación de su peso y tamaño, no sólo en sus vagones, sino también en sus instalaciones como estaciones y paraderos, esto para dar cuenta de la necesidad de alinear las rutas de acuerdo a los diseños de vías complicadas con geometrías irregulares dentro de las ciudades.

<sup>10</sup> Japan Monorail Association Guide: "Types of Monorail Systems". Japón. 2005. p. 05

## 5.2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO EN EL MUNDO.

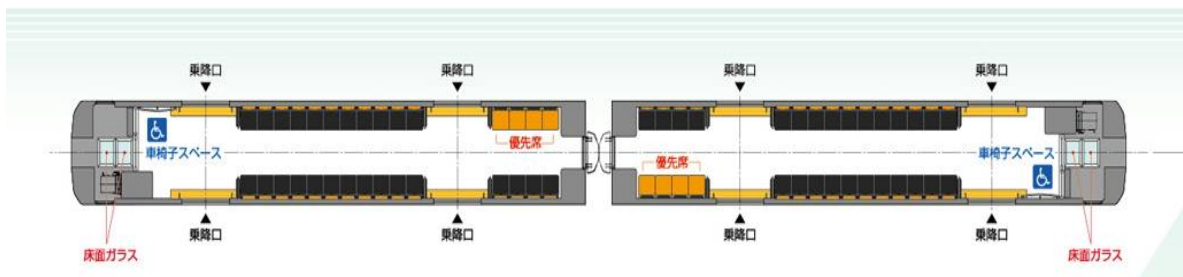
### 5.2.2.1 MONORRIEL CHIBA – JAPÓN.

El monorriel de Chiba es considerado el sistema de transporte suspendido más largo del mundo, con alrededor de 15.2 kilómetros, en la ciudad de Chiba, ubicada al sur oriente de Tokio. El sistema opera desde el año 1988, y se ha ido modernizando a través del tiempo, su trazado fue diseñado para conectar las áreas residenciales e instituciones públicas en la ciudad de Chiba, Japón. En 1991 el sistema se amplió con una segunda línea, y ha ido creciendo hasta convertirse en un medio integral de transporte de gran valor para los ciudadanos de la ciudad de Chiba.<sup>11</sup> Los planes a largo plazo con este sistema de transporte es su ampliación para un total de **40km**, por su gran desempeño como sistema de transporte de pasajeros.

#### Monorriel Chiba, ficha técnica:

- Dimensiones de la carrocería por Vagón: 14,800mm x 2,580mm x 3,085mm (longitud x ancho x altura)
- Capacidad por Vagón: 78 personas (número de asientos para 30 personas)
- Sistema de control: control del inversor VVVF
- Equipo de seguridad: sistema de control automático de trenes (ATC)
- Recorrido de 15.2 Km, con 18 Estaciones.
- Transporta 45.430 Pasajeros diarios al año 2008.**
- Velocidad 30km/h**

FIGURA 4. Vista en planta Monorriel.

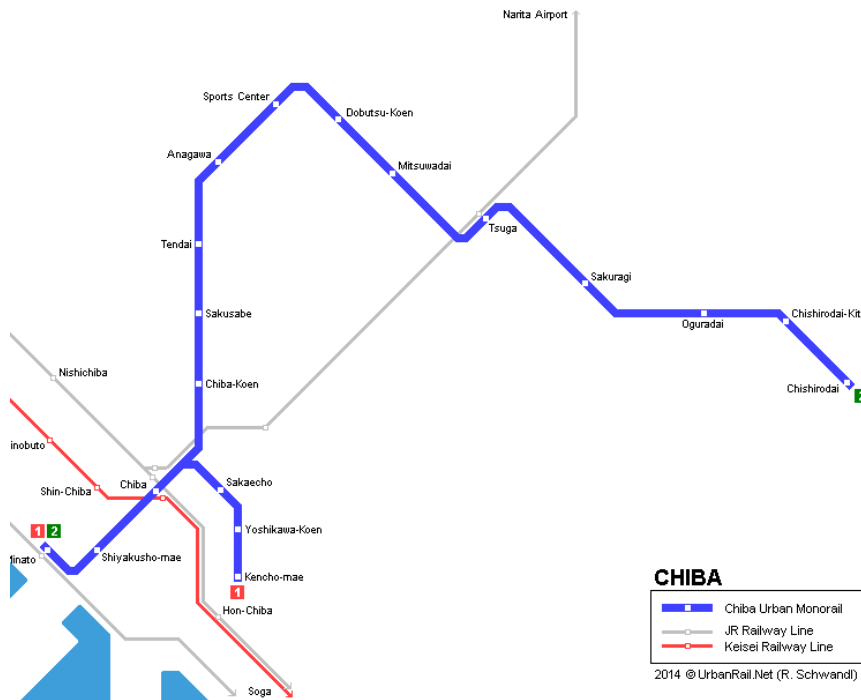


Fuente. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Mitsubishi Electric Corporation.

<sup>11</sup> Mitsubishi, Heavy industries LTD [Online]. Monorail. [citado 07 Febrero 2016]  
Disponible:<<https://www.mhi-global.com/products/category/monorail.html>>



**FIGURA 5. Estaciones Monorriel Chiba – Japón.**



Fuente. Schwandl, Robert. Monorraíl Chiba. UrbanRail.Net

**FIGURA 6. Monorriel suspendido de Chiba.**



Fuente. <http://discoverytumundo.blogspot.com.co/2015/01/increibles-monorrieles-colgantes-en.html>

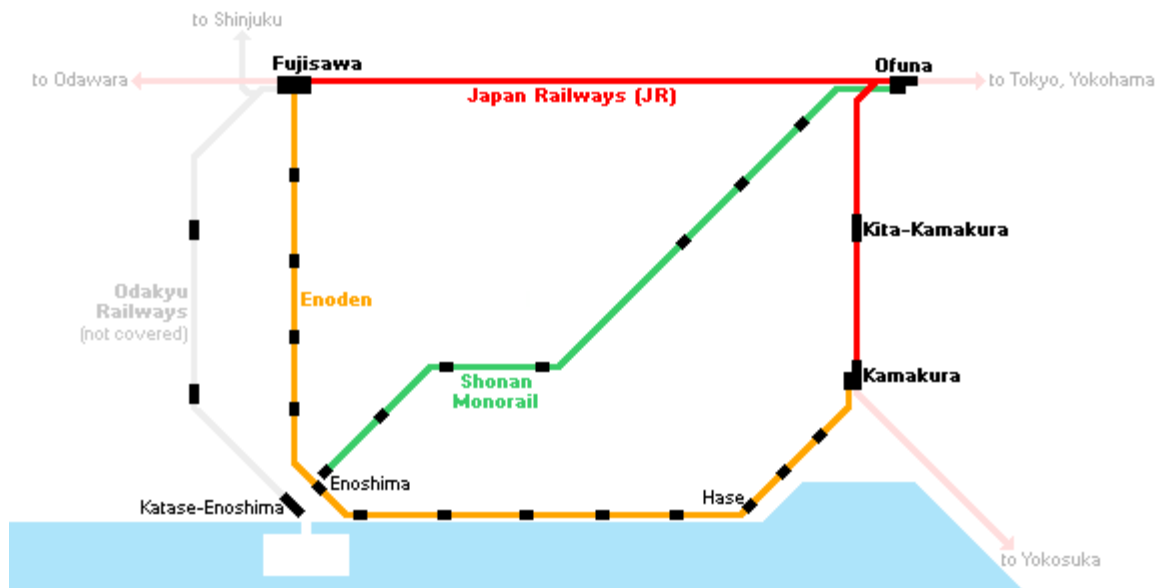
### 5.2.2.2 MONORRIEL SHONAN – JAPÓN.

Funcionando desde 1970, esta línea de 6,6 kilómetros entre terminales conecta las ciudades de Kamakura y Fujisawa, ambas localizadas en la periferia de Kanagawa, al sur de Tokio.

El sistema monorraíl de Shonan ha funcionado con éxito durante 30 años en Japón conectando las zonas turísticas con los distritos residenciales. La tecnología de monorraíl suspendido fue seleccionada debido a su (guide-beam), viga-guía en español, el cual permite un desplazamiento silencioso a través del entorno residencial circundante.

Shonan Monorail y el ferrocarril eléctrico de Enoshima son dos líneas cortas que sirven a la parte oriental de la región de Shonan, cerca de la zona metropolitana de Tokio. El área incluye dos lugares turísticos destacados, Enoshima una pintoresca isla a lo largo de la playa de arena, y Kamakura una ciudad antigua conocida como Kyoto.<sup>12</sup>

FIGURA 7. Trazado Monorriel suspendido de Shonan.



Fuente. Schwandl, Robert. Monorraíl Shonan. UrbanRail.Net

<sup>12</sup> Monorriel Shonan. [Online]. [citado 07 Febrero 2016] Disponible en:  
< <http://www.japaneserailwaysociety.com/hiroshi/eno/shonan.htm> >

Durante la temporada de vacacional, el sistema es muy usado por los extranjeros, incluyendo los bañistas que en la época de verano visitan la zona de Enoshima de Tokio, Yokohama y sus alrededores, como una de las opciones más rápidas para el desplazamiento entre los lugares turísticos de la región.

**FIGURA 8. Monorriel Shonan.**



Fuente. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/8938550@N03/>

Esta línea fue construida con la finalidad de proporcionar un mejor transporte al suroeste de Tokio, debido a que ha tenido un considerable desarrollo tanto residencial como comercial, ya que no existe una línea ferroviaria local para el transporte de pasajeros.

Esta línea de Monorriel Termina en Enoshima, una localidad marítima que posee una conexión ferroviaria a Tokio y un ferrocarril eléctrico, pero el monorraíl proporciona una capacidad útil adicional durante las horas pico. Su trazado fue construido a lo largo de una carretera local, con radios de curvatura de 50m y pendientes del 7,4 por ciento (1 en 14). El sistema es tripulado y totalmente eléctrico a 1500 V CC. El costo de construcción fue de alrededor de mil ¥ **5,3 millones**. El sistema ha sido tan eficiente que hasta la fecha no hay perspectivas para una extensión de la línea de transporte. Actualmente transporta **28.000 pasajeros diarios**, con una velocidad promedio de **28.9Km/h**.<sup>13</sup>

Los “trenes” salen cada 5 minutos, incluso en las horas pico con una buena frecuencia, para movilizar a gran parte de los pasajeros de Shonan.

Los vagones cuentan con aire acondicionado, sistemas de seguridad de última generación construidos por Mitsubishi Heavy Industry Co, Mitsubishi es el único proveedor de sistemas de monorraíl suspendido en Japón.

---

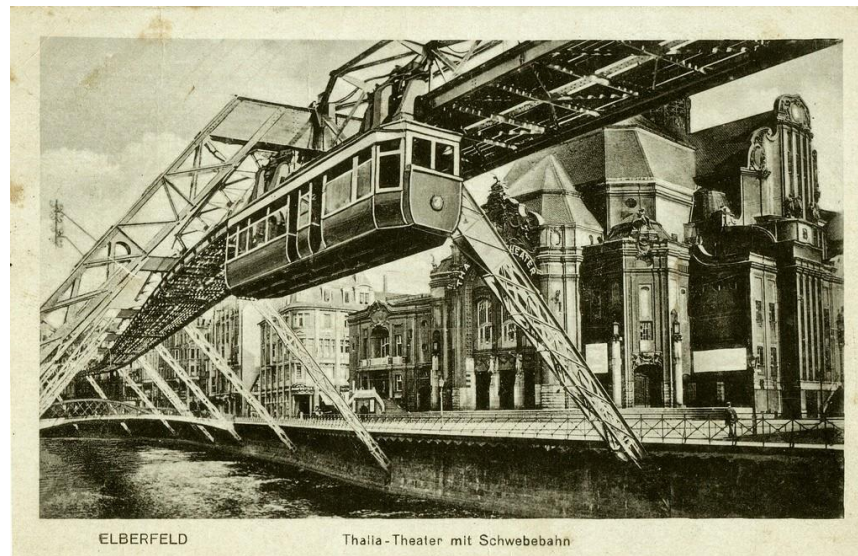
<sup>13</sup> Revista. Monorails In Japan: An Overview: “Special Report No. 09”. Japón. Junio 22 de 2005. p. 6.

### 5.2.2.3 MONORRIEL WUPPERTAL – ALEMANIA.

El monorriel colgante de Wuppertal fue ideado a finales del siglo XIX por Eugen Langen, quien ya había diseñado un sistema similar. Sin embargo, Langen murió en 1895 por lo que nunca conoció el resultado de su majestuosa obra.

Este monorriel colgante fue construido en 1898 a lo largo del río Wupper e inaugurado en 1901, con un recorrido total de 13Km, este sistema de transporte resulta ser uno de los más antiguos de su tipo, y ha sido remodelado en su estructura y material rodante conservando siempre su diseño original.<sup>14</sup>

FIGURA 9. Monorriel Wuppertal AÑO 1901.



Fuente. Flickr, [www.flickr.com/photos/wwwwuppertal/](http://www.flickr.com/photos/wwwwuppertal/)

La principal característica del monorraíl colgante de Wuppertal (además de la evidente) es que la mayor parte de su recorrido la realiza a 12 metros por encima de las aguas del río Wupper. Este monorriel es de los sistemas de transporte más eficientes usado por los habitantes de Wuppertal, además de ser una atracción turística. Lo usan unos **87.000 pasajeros al día** y anualmente más de 23 millones de pasajeros.

El monorraíl colgante de Wuppertal se sostiene gracias a su estructura de acero (19.200 toneladas). 3 motores eléctricos impulsan las ruedas de estos vehículos,

---

<sup>14</sup> Monorriel Wuppertal. [Online]. Disponible en: <http://www.schwebebahn.de/geschichte-technik/geschichte/>.

que son soportados por 486 pilares que velan por la estabilidad de la estructura. En cuanto a los “trenes” que circulan por esta línea cuentan con 20 estaciones, con un tiempo de recorrido promedio de **30 minutos**.

**FIGURA 10. Monorriel Wuppertal.**



Fuente. Germany Travel. <<http://www.germany.travel/es/ciudades-turismo-cultural/ciudades/wuppertal.html#h125775>>

En el año 2011, Vossloh una marca Española dedicada al sector del transporte férreo, firmo un acuerdo para suministrar 31 trenes de dos vagones denominados “Generación 15” para la remodelación y optimización del sistema con nuevas tecnologías, estos trenes servirán para reemplazar la flota de 27 trenes existentes, que datan en la época de los años 70.

Estos nuevos vehículos tipo monorriel colgante, fueron adquiridos por un costo de 122 millones de Euros, estos monorrieles tienen 24 metros de largo, 2.2 de ancho y pesan aproximadamente 25 toneladas cada uno, su estructura es de aluminio, con iluminación LED y 46 asientos repartidos en los dos vagones, cuenta con un espacio para 96 personas de pie, Vossloh espera entregar el último tren en 2017.<sup>15</sup>

Con el cambio de la flota de trenes, se está llevando a cabo otras modificaciones en su sistema a largo plazo como; los nuevos sistemas de control de tráfico y la remodelación de las 20 estaciones de la red.

---

<sup>15</sup> International Railway Journal y Railway Gazette [Online]. Disponible en: <http://www.trenvista.net/noticias/europa/alemania/el-monorail-colgante-de-wuppertal-recibe-sus-coches-vossloh/>



**FIGURA 11. Trazado Monorriel Wuppertal.**



Fuente. schwebbahn-in-wuppertal Copyright © 2011 Jürgen Brauner

Según la figura anterior el trazado de la línea de Wuppertal se muestra como una línea roja, que recorre por el valle del Wupper casi paralela al **Ferrocarril Federal** (línea segmentada en el gráfico).

A raíz de todas estas mejoras el sistema contará con una frecuencia entre trenes de **2 minutos**, se incrementará el voltaje de la línea de los 600V DC actuales y pasaran a los 750V DC una vez entren a funcionar la nueva flota de trenes<sup>16</sup>.

**TABLA 1. Especificaciones Técnicas Monorriel Wuppertal.**

|                                            |                                                                            |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| longitud de la ruta                        | 13,3 kilómetros, a través de dos vías de las que 10 km sobre el Wupper     |
| más pequeño radio de giro                  | 75 m                                                                       |
| sistema de energía                         | 600 V DC                                                                   |
| paradas                                    | 20, 4 de los cuales están en la ruta terrestre                             |
| tiempo de conducción                       | ~ 30 minutos                                                               |
| pasajeros                                  | hasta 87.000 por día                                                       |
| La construcción de la línea de 1898 - 1901 |                                                                            |
| Número de vehículos                        | GTW original de 28 vagones articulados, 25 están todavía en funcionamiento |
| Año de vehículos                           | 1972 - 1975                                                                |
| la velocidad máxima                        | 60 kmh                                                                     |
| velocidad de desplazamiento                | ~ 26,6 kmh                                                                 |
| la parte superior del reloj                | 3 min                                                                      |

<sup>16</sup> Schwebbahn in Wuppertal. [Online]. Disponible en: < <http://www.schwebbahn.de/geschichte-technik/fahrzeuge/> >

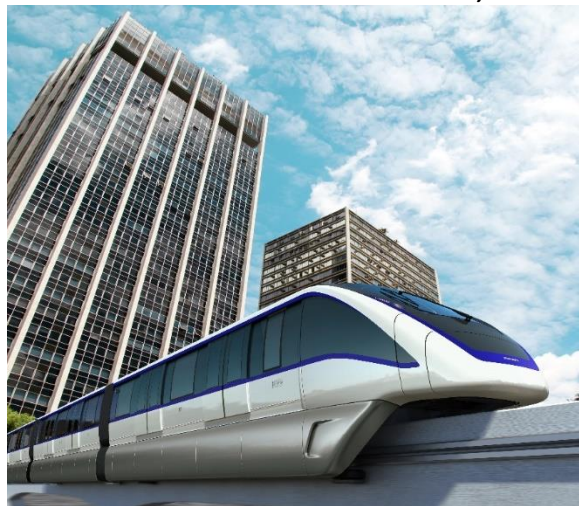
#### 5.2.2.4 INNOVIA MONORRIEL 300, SAO PAULO, BRASIL.

Bombardier Transportation hizo entrega de su monorriel totalmente automatizado el “INNOVIA 300”, un sistema de monorraíl para la nueva línea de metro de Sao Paulo Brasil (línea 15). El cual conectará las urbanizaciones Villa Prudente y Cidade Tiradentes, este nuevo sistema de monorraíl sin conductor proporcionará un servicio de transporte de pasajeros cómodo y seguro para los ciudadanos de Sao Paulo, este monorriel al final de su construcción será el más grande del mundo, moviendo **48.000 pasajeros por hora en cada dirección**, este sistema bidireccional cuenta con 54 trenes cada uno con 7 vehículos ó “vagones” para un total de 378, estos vehículos han sido diseñados con los sistemas CITYFLO, tecnología de control automático sin conductor<sup>17</sup>.

Resumen del proyecto:

- Esta línea consta de 24 km que conectara a 17 estaciones en Sao Paulo, Brazil.
- El Material rodante será de cincuenta y cuatro “trenes” sin conductor cada uno con 7 Vagones, (378 coches) cada uno está equipado con CITYFLO 650 tecnología de control automático de trenes, lo que permitirá tiempos más cortos de espera dependiendo del volumen de pasajeros en horas pico y capacidad por tren de **1.000 pasajeros**.
- Los tiempos de viaje se reducirán de dos horas en automóvil a tan sólo 50 minutos en el monorraíl, el sistema “Innova 300” beneficiará a más de 500.000 pasajeros diarios.
- Fase 1 se Inauguró en Agosto de 2014.
- Velocidad Máxima **de 80Km/h**

FIGURA 12. Monorriel Sao Paulo, Brasil.



Fuente. Mafex, Mafexcoporate magazine, Spanish Railway Association. Septiembre 2014. P. 32

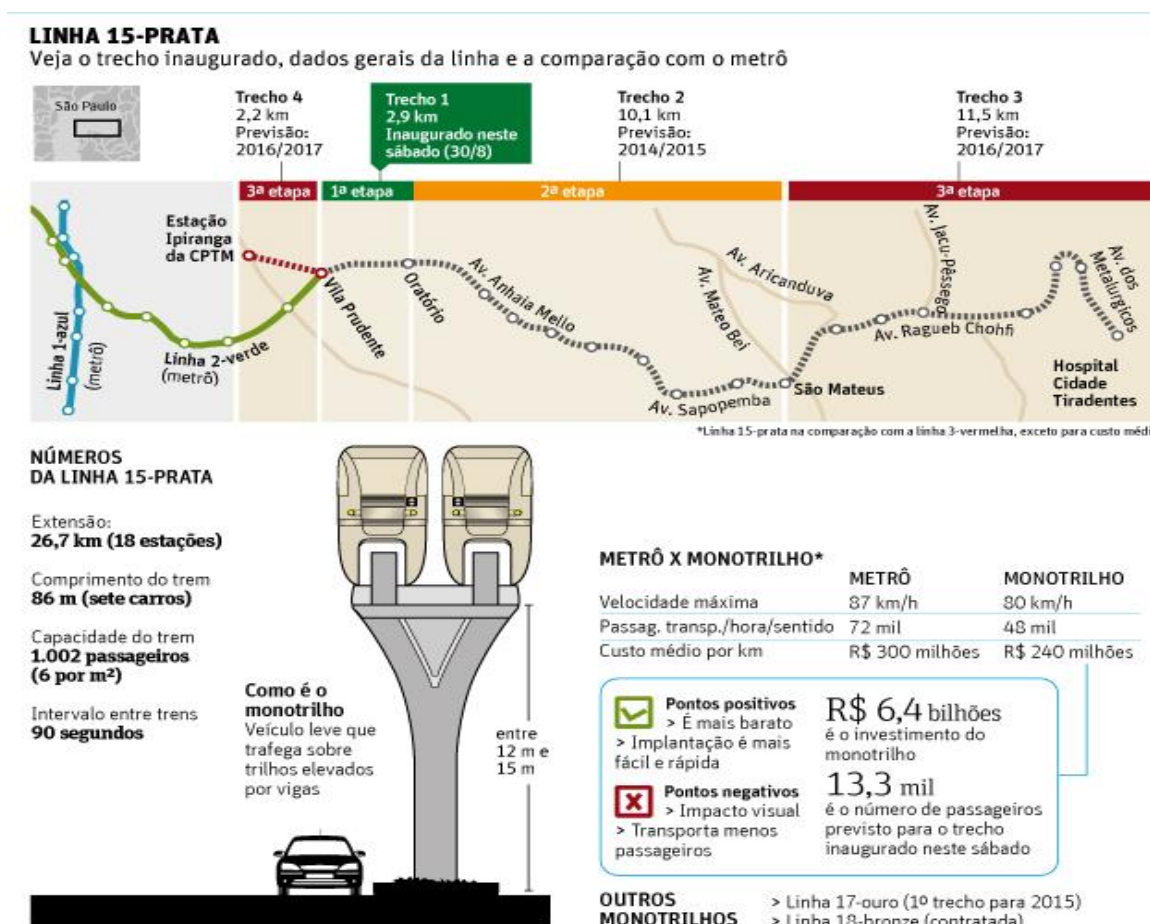
---

<sup>17</sup> <http://www.bombardier.com/>

Bombardier como fabricante de este tipo de monorrieles de alta capacidad fue premiado como “Proveedor de sistemas del año”, por la construcción, operación y gran solución que representa para los problemas de tránsito este tipo de sistemas de transporte de pasajeros.

En este premio se destaca la distribución de soluciones de movilidad innovadoras para el sector del transporte, el sistema monorriel 300 de alta capacidad establece nuevos niveles en la industria al ofrecer capacidad de transporte semejante al metro convencional, con una infraestructura liviana que reduce a la mitad tanto los costos de construcción como los plazos de implementación, fomentado calidad de vida a los ciudadanos en menos tiempo y con más eficiencia de costos.<sup>18</sup>

FIGURA 13. Infograma. Monorriel Sao Paulo, Brasil



Fuente. FOLHA DE S.PAULO. [Online]. Disponible en: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/08/1508434-primeiro-monorrilho-do-pais-sera-inaugurado-hoje-em-sao-paulo.shtml>

<sup>18</sup> EL ABC (2012, 12 de Abril) “Constructora del monorriel eléctrico de Sao Paulo recibe importante premio”.



## 6. EL TRANSPORTE DEL SIGLO XXI.

El mundo, ha venido cambiando constantemente y cada vez con una mayor velocidad, y como consecuencia el transporte es una de las principales necesidades para las personas en el mundo, este crecimiento exponencial tanto de la población como de la necesidad de desplazamiento generada por el estilo de vida de las personas ha venido ocasionado efectos colaterales en el transporte y la movilidad, generando un sin número de problemáticas en la población a nivel mundial, como la congestión, la contaminación, los accidentes, la inseguridad y el déficit de modos de transporte público eficientes, todos estos inconvenientes como respuesta a la mala planificación, limitada inversión y la falta de confianza en la toma de decisiones estratégicas.

Uno de los ejemplos más representativos son los países en vía de desarrollo, drásticamente golpeados por la congestión diaria y el aumento de la contaminación urbana, estos problemas ya no son por falta de infraestructura, sino los por los bajos ingresos, la rápida urbanización y la fuerte demanda por el servicio de transporte público.<sup>19</sup>

Uno de los claros ejemplos es China, caracterizado por su gran economía, y golpeado por la contaminación generada por el transporte, y las malas decisiones tomadas en términos de movilidad, uno de los ejemplos más claros es el uso indiscriminado del automóvil sobre los modos de transporte sustentables como el uso de la bicicleta, caso totalmente opuesto al de Holanda, donde unos de los principales modos de transporte de la población se desplazan en bicicleta, incentivando su uso con una infraestructura de aparcamientos y puntos de garaje en todo su territorio.

Es por eso que Juan de Dios Ortuzar en su libro de, Modelos de demanda de transporte, dice:

La planificación e implementación de proyectos tienen potencialmente el poder de cambiar el mundo. Para diseñar una metodología de planificación de largo plazo, adecuada para estos tiempos, es importante entender que esta no pasa únicamente por la capacidad de modelar el sistema. Los modelos solo serán útiles si se adoptan como una herramienta efectiva de apoyo a quienes deben tomar decisiones. Para esto es necesario disponer de planificadores expertos, buenos modeladores y sabios tomadores de decisiones.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Ortuzar, Juan de Dios. Modelos de demanda de transporte. Colombia-Bogotá: Alfaomega, 2015. p. 11.

<sup>20</sup> Ortuzar, Juan de Dios. Modelos de demanda de transporte. Colombia-Bogotá: Alfaomega, 2015. p. 12

Un estudio realizado por Castrol y Tom Tom en el año 2014, determino las ciudades con el peor tráfico en el mundo, basados en los datos de TomTom (dispositivos de navegación por Gps satelital), los cuales analizan el flujo del tránsito vehicular a partir del número de paradas y puestas en marcha en un viaje durante todo el día y en especial en las horas pico, estos datos se comparan con los tiempos de viaje medios durante los periodos no congestionados (Flujo vehicular libre) la diferencia de estos datos se expresa como un porcentaje de aumento promedio total del tiempo del viaje, en los datos obtenidos se tomaron carreteras, avenidas y autopistas, este estudio se realizó en 50 países y 218 ciudades, y se concluyó que una persona promedio se demora más de 8 días al año atrapado en el tráfico. En donde las horas pico reportan cada día mayor complejidad, lo que significa tiempos de desplazamientos más largos de un promedio de dos horas. Lo que también influye el tráfico, la urbanización y los trayectos en un periodo de tiempo específico. Con base a este estudio se calculó los kilómetros totales conducidos y el número de paradas por kilómetro por viaje y por región.

En este estudio se incluyó los índices de tráfico y niveles de congestión por hora-día y día-semana, este estudio tomo como base las ciudades con poblaciones de más de 800.000 personas. (Colombia y especialmente Bogotá no están dentro de estudio, pero en el desarrollo de este trabajo deberá estar dentro del ranking de los primeros diez puestos con el peor tráfico a nivel mundial).

**TABLA 2. Ranking de las ciudades con el peor tráfico del mundo.**

| Lugar en el Ranking | Ciudad                  | Nivel de congestión | Mañanas    | Tardes     |
|---------------------|-------------------------|---------------------|------------|------------|
| 1                   | Estambul (Turquía)      | 58%                 | 76%        | 109%       |
| 2                   | <b>DF (México)</b>      | <b>55%</b>          | <b>93%</b> | <b>89%</b> |
| 3                   | Río de Janeiro (Brasil) | 51%                 | 72%        | 81%        |
| 4                   | Moscú (Rusia)           | 50%                 | 77%        | 103%       |
| 5                   | Salvador (Brasil)       | 46%                 | 62%        | 75%        |
| 6                   | Recife (Brasil)         | 45%                 | 81%        | 82%        |
| 7                   | San Petersburgo (Rusia) | 44%                 | 67%        | 96%        |
| 8                   | Bucarest (Rumania)      | 41%                 | 78%        | 82%        |
| 9                   | Varsovia (Polonia)      | 40%                 | 69%        | 75%        |
| 10                  | Los Ángeles (EU)        | 39%                 | 60%        | 80%        |
| 11                  | Taipei (Taiwan)         | 39%                 | 55%        | 77%        |
| 12                  | Chongqing (China)       | 38%                 | 82%        | 84%        |
| 13                  | Roma (Italia)           | 38%                 | 71%        | 65%        |
| 14                  | Tianjin (China)         | 38%                 | 56%        | 64%        |
| 15                  | Beijing (China)         | 37%                 | 63%        | 74%        |
| 16                  | Londres (Inglaterra)    | 37%                 | 65%        | 67%        |
| 17                  | Guangzhou (China)       | 37%                 | 40%        | 73%        |
| 18                  | Marsella (Francia)      | 36%                 | 63%        | 71%        |
| 19                  | Chengdu (China)         | 36%                 | 64%        | 67%        |
| 20                  | Vancouver (Canadá)      | 35%                 | 53%        | 66%        |

Fuente. Forbes Mexico. Df es (casi) la ciudad con el peor tráfico en el mundo. 31 Marzo 2015.

Según lo anterior se amplía la información correspondiente a la Tabla No. 2

**FIGURA 14. Estambul, Turquía.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

1. Estambul, Turquía: 58% - Los conductores pasan 125 horas anuales atrapados en el tráfico, y un viaje de una hora sin congestión, se extiende a 94 minutos en promedio durante la hora pico.

**FIGURA 15. Ciudad de México, México.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

2. Ciudad de México, México: 55% - En el Distrito Federal y su zona metropolitana, un viaje de 60 minutos sin tráfico se extiende a un promedio de 93 minutos en horas pico.



**FIGURA 16. Rio de Janeiro.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

3. Rio de Janeiro, Brasil: 51% - Un viaje que se hace en una hora con tráfico bajo, sube, en promedio, a 90.6 minutos durante ese horario.

**FIGURA 17. Moscú, Rusia.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

4. Moscú, Rusia: 50% - Un viaje de 60 minutos sin tráfico se extiende a un promedio de hora y media.

**FIGURA 18. Salvador, Brasil.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

5. Salvador, Brasil: 46% - Su tráfico puede convertirse en una condena brutal en hora pico, cuando un viaje que se realiza habitualmente en una hora se extiende a un promedio de 87.6 minutos.

**FIGURA 19. Recife, Brasil.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

6. Recife, Brasil: 45% - El recorrido que los habitantes de esta ciudad hacen sin tráfico en una hora se eleva a un promedio de 87 minutos.



**FIGURA 20. San Petersburgo, Rusia.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

7. San Petersburgo, Rusia: 44% - En la segunda ciudad más activa de Rusia, un viaje habitual de una hora se extiende a un promedio de 86.4 minutos.

**FIGURA 21. Bucarest, Rumania.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

8. Bucarest, Rumania: 41% - No menos sorprendentes son las 94 horas atorados en el tráfico que deben soportar sus habitantes anualmente, ni los 84.6 minutos en promedio en que puede convertirse un viaje de una hora en hora punta.

**FIGURA 22. Varsovia, Polonia.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

9. Varsovia, Polonia: 40% - Un recorrido de 60 minutos puede prolongarse a uno de 84 en promedio cada tarde al salir de la oficina.

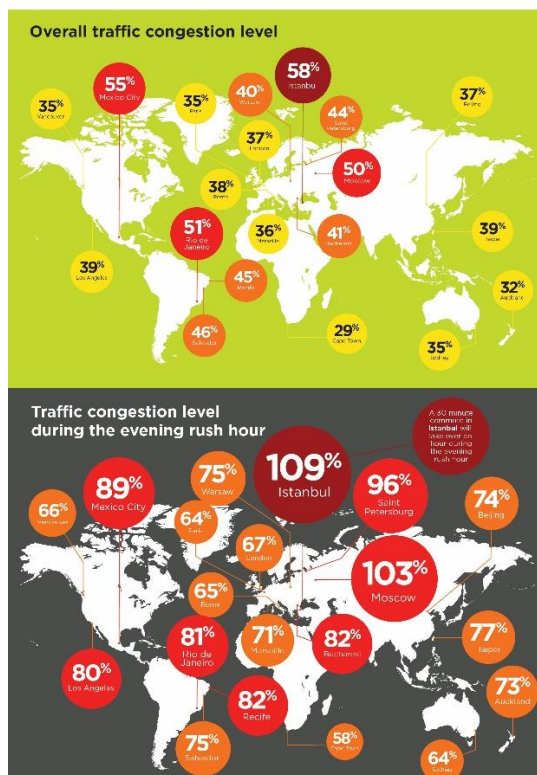
**FIGURA 23. Los Ángeles, Estados Unidos.**



Fuente. Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

10. Los Ángeles, Estados Unidos: 39% - En esta metrópoli, un viaje de una hora puede convertirse en una mala pasadas de 83.4 minutos,

**FIGURA 24. Traffic Index. (Índices de Trafico- TomTom).**



Fuente. TomTom. Reino Unido. Traffic Index. Copyright © 2015 TomTom International.

## 6.1 CONTEXTO POBLACIONAL DE BOGOTÁ.

Bogotá es la ciudad capital de la Republica de Colombia, es una metrópolis con más de 7 millones de habitantes, la mayor población del país, constituida por 20 localidades siendo el centro administrativo, económico del país, se encuentra a 2.600 msnm, cuenta con un área de 1.587 km<sup>2</sup>, de los cuales 384 Km<sup>2</sup> corresponden a la zona urbana, y 345 Km<sup>2</sup> se han urbanizado legalmente, con una densidad de área urbanizada de 21.276 habitantes/Kilómetro cuadrado.<sup>21</sup>

En los últimos años Bogotá ha venido evidenciando un crecimiento poblacional urbano constante, datos del departamento administrativo nacional de estadísticas (DANE), la población en Bogotá paso de 4,4 millones de habitantes en el año 1985 a 6,3 millones de habitantes en el 2000 y 7,3 millones de habitantes en 2009, un

<sup>21</sup> Boletín No.22.Alcaldia mayor de Bogotá secretaria distrital de planeación. Densidades Urbanas: El caso de Bogotá. 2010. P.13.



crecimiento muy acelerado que genera un sin número de efectos colaterales en la capital como; el mal uso del suelo, la presencia de la congestión vial, el aumento de la contaminación por efectos del uso indiscriminado del automóvil y del servicio público de transporte obsoleto que aún circula en las principales vías de la capital, unido al incremento de la accidentalidad e inseguridad, a causa de la ineficiente gestión y planificación estratégica durante las últimas administraciones en la capital.

Adicionalmente la conurbación efecto importante en la incidencia de la problemática en la capital, debido al asentamiento poblacional en la periferia de Bogotá, siendo claros ejemplos los municipios de Cajicá, Chía, Cota, Funza, La Calera, Mosquera, Soacha y Sopo. Estos municipios fuertemente ligados con Bogotá, se están convirtiendo en ciudades dormitorio, en donde un porcentaje de la población realiza actividades industriales, comerciales en la capital de pendiendo de la necesidad. En este escenario teniendo en cuenta todos los municipios anteriormente mencionados se tiene un área total de 2.735 Km<sup>2</sup>, de los cuales 523 Km<sup>2</sup> constituyen un área urbana y una población alrededor de los 8 millones de habitantes<sup>22</sup>.

Debido a esto la infraestructura actual de Bogotá no es la más adecuada para soportar la cantidad de vehículos particulares, motos, buses convencionales, buses padrones (SITP), que se desplazan en la capital, y se debe optar por una reestructuración y planeación de un verdadero sistema integral de transporte que supla necesidades de capacidad y eficiencia para la población, generando calidad de vida y optimización en los tiempos de desplazamiento, ya que los actuales modos de transporte funcionan desarticuladamente.

Es por eso que el tiempo movilización ó desplazamiento es un parámetro fundamental en los sistemas de transporte de pasajeros, ya que este determina la viabilidad del uso de un modo específico de transporte a otro. En conclusión, la demanda de pasajeros depende de que tan eficiente sea el sistema a utilizar en términos de tiempos de desplazamiento de un punto X, a un punto Y. Entre más tiempo gaste un agente en movilizarse en la ciudad, menos tiempo tendrá para

---

<sup>22</sup> Banco de desarrollo de América Latina. Desarrollo urbano y movilidad en América Latina, PANAMA: Norma.2011. p. 140

efectuar actividades productivas y de ocio, las cuales elevaran su nivel de calidad de vida.<sup>23</sup>

Por eso la problemática en la movilidad de Bogotá ha de mostrado que se comporta bajo la estructura del efecto domino, si Bogotá presta un mal servicio de transporte público bien sea Transmilenio, SITP ó Buses convencionales, en donde los tiempos de desplazamiento y la capacidad instalada de los sistemas de transporte es ineficiente, esto obliga a los usuarios a tomar otros modos de transporte como la adquisición de motos y vehículos particulares, pero estos a su vez aumentan la capacidad de la infraestructura instalada y disminuye la capacidad de movilidad por el aumento del parque automotor, y a su vez generan accidentalidad en el caso de las motos y contaminación en el caso de los automóviles, afectando los niveles de calidad de vida en la población.

Según lo anterior la percepción de movilidad por parte de los bogotanos no es la mejor en términos de seguridad, eficiencia, y cultura ciudadana, debido a la falta de soluciones por parte de las administraciones pasadas en términos de movilidad.

**FIGURA 25. Movilidad de Bogotá.**

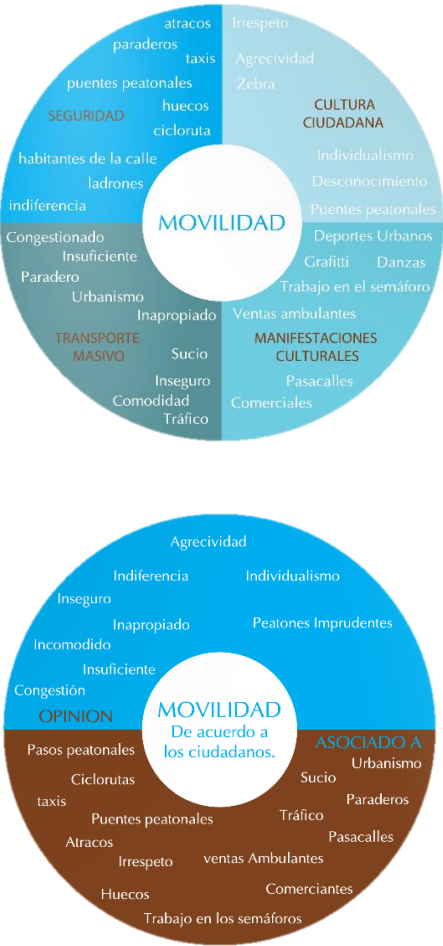


Fuente. Castaño Ramírez Alejandro, Motos, masas y maltratos. Bogotá 24 Septiembre de 2015.

---

<sup>23</sup> Calvo, Leonardo. (2009, Junio). "Soluciones de Movilidad en Bogotá", en Revista Anales de Ingeniería, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Año 2009, No. 910, 2009. P. 13.

FIGURA 26. Mapas de movilidad según percepción ciudadana.



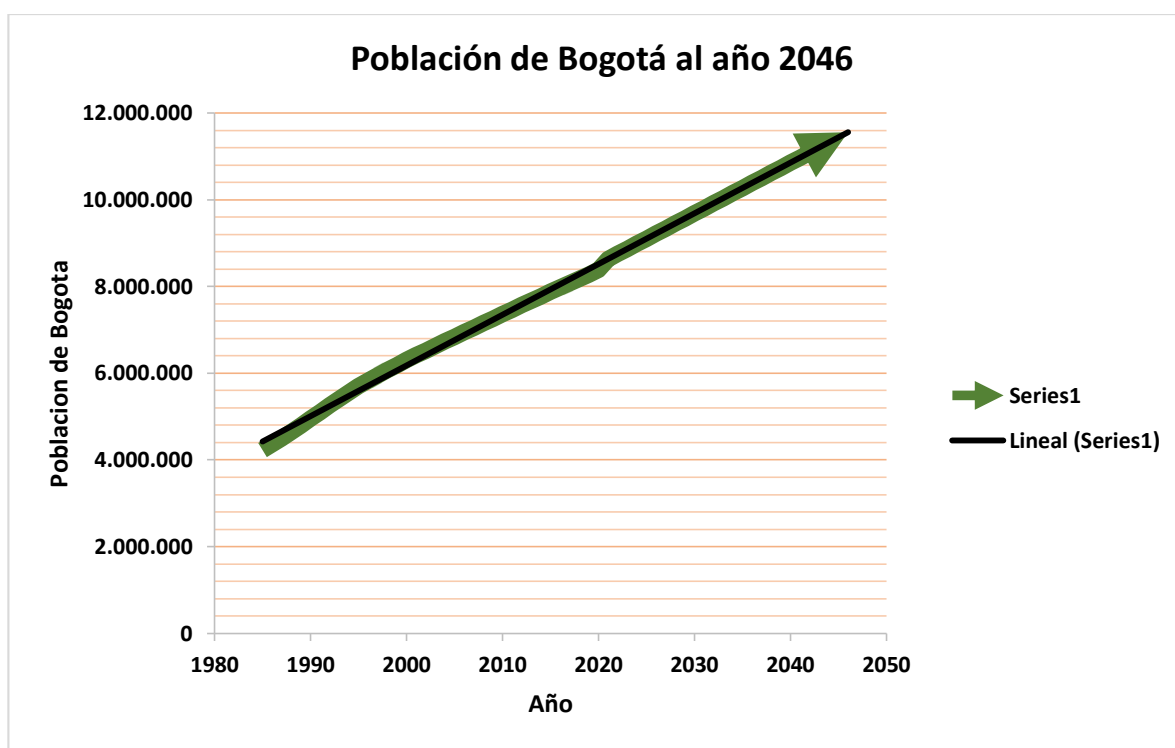
Fuente. Bejarano G, Sánchez S, Vargas M .Movilidad Bogotá 2011-2 Universidad de los Andes. 2012. P.5

## 6.2 CONTEXTO POBLACIONAL AVENIDA BOYACÁ.

Para analizar el contexto poblacional de la avenida Boyacá y su comportamiento demográfico dentro Bogotá, se realizó la proyección correspondiente a las áreas de influencia de la avenida Boyacá, con el fin de estimar la demanda correspondiente a 30 años, lapso de tiempo de vida útil de un monorriel ó tranvía para uso de transporte de pasajeros.

Tomando la información relacionada de Censos del DANE del año 2005 se obtuvo la siguiente gráfica.

**FIGURA 27. Proyección de población de Bogotá al año 2046.**

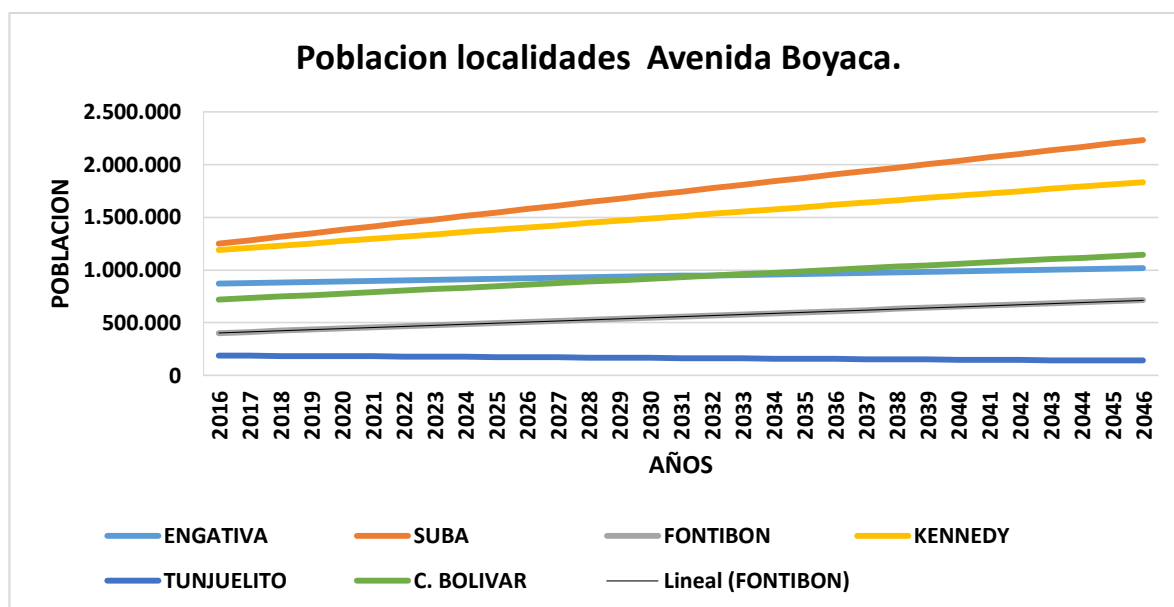


Fuente. Propia.

Según la gráfica anterior, la tendencia demográfica de Bogotá para el año 2046, será aproximadamente de más de 11 millones de habitantes, los cuales requerirán más modos de transporte público que cubran la demanda de pasajeros por las principales vías de Bogotá.

Al igual se tomaron datos del crecimiento demográfico de las localidades que se encuentran dentro del área de influencia de la avenida Boyacá, para tener en un referente cuantitativo de la cantidad de pasajeros hora pico sentido de la avenida Boyacá para el año 2046.

**FIGURA 28. Proyección Localidades Av. Boyacá al año 2046.**



Fuente. Propia.

**TABLA 03. Proyección Localidades Av. Boyacá al año 2046.**

| POBLACION LOCALIDADES AV BOYACA AL AÑO 2046 |           |           |          |           |            |            |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|------------|
| AÑO                                         | ENGATIVA  | SUBA      | FONTIBON | KENNEDY   | TUNJUELITO | C. BOLIVAR |
| 2044                                        | 1,006,001 | 2,166,350 | 693,435  | 1,789,926 | 144,378    | 1,116,251  |
| 2045                                        | 1,010,731 | 2,199,062 | 703,793  | 1,811,444 | 142,765    | 1,130,414  |
| 2046                                        | 1,015,461 | 2,231,774 | 714,150  | 1,832,963 | 141,151    | 1,144,577  |

Fuente. Propia.

Para la proyección al año 2046, la población estimada en las localidades dentro del área de influencia de la Avenida Boyacá es de un total del orden de 7 millones de habitantes aproximadamente, lo cual es un indicio de que la avenida Boyacá requiere de nuevos sistemas y modos de transporte que cubran la demanda de Norte a sur y viceversa en las horas pico para dicho año.

### 6.3 MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN BOGOTÁ.

El transporte público de Bogotá equivale al 41% de los viajes diarios, el transporte privado como automóviles y motos al 23% de los viajes, el 15% desplazamientos realizados a pie, el 31% no motorizado y el 5% restante en otros medios de transporte informales.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad-Reporte anual de movilidad 2014 No.8. (Octubre de 2015), p.11.

Actualmente Bogotá cuenta con 5 modos de transporte público en función del Sistema Transmilenio y 2 que se encuentran en transición (Uber y Bicitaxis), para para movilizar toda la población de la capital:

- **Transmilenio:** Es un sistema de Transporte masivo de pasajeros, que cuenta con un carril exclusivo con estaciones y portales distribuidas en troncales por donde se desplazan buses articulados con capacidad de 160 pasajeros, (48 sentados y 112 de pie), y Biarticulados con capacidad de 250 pasajeros (62 sentados y 188 de pie), Transmilenio actualmente cuenta con 1.713 buses articulados y biarticulados<sup>25</sup>, 112,9 Kms de vías, 11 troncales en operación, 134 estaciones, 9 portales y 9 patio garajes. Transmilenio moviliza actualmente 1'926.925 pasajeros diarios cubriendo el 30% de la demanda del transporte en Bogotá<sup>26</sup>.

FIGURA 29. (BRT) Transmilenio.



Fuente. Secretaría Distrital de Hacienda.

- **Alimentadores:** Son buses (verdes) padrones con capacidad de 80 pasajeros y algunos con capacidad de 50 pasajeros (811 buses<sup>27</sup>), su función es alimentar y desalimentar los principales portales a zonas aledañas al sistema Transmilenio, este servicio opera en carriles mixtos con paraderos de acuerdo a rutas específicas.



<sup>25</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.

<sup>26</sup> Transmilenio, Historia [Online]. [citado 19 Enero 2016]

Disponible:<<https://www.transmilenio.gov.co/es/articulos/historia>>

<sup>27</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.



Fuente. Abel Cárdenas/EL TIEMPO

- **Servicio Urbano Zonal:** Son buses (Azules), este sistema surge como apoyo al sistema Transmilenio para el cubrimiento de las zonas en las que aún no llega el sistema, este está compuesto por buses con capacidad de 80, 50 y 40 pasajeros, las rutas del servicio urbano por lo general recorren grandes distancias y se desplazan por los carriles mixtos, lo cual afecta las frecuencias de viaje por la congestión en las horas de máxima demanda de pasajeros.

**FIGURA 30. Bus urbano Zonal (SITP).**



Fuente. OFICIAL TRANSMILENIO S.A.

- **Transporte Público Colectivo Convencional:** Uno de los primeros sistemas de transporte de la capital, cuenta con 3.264 buses, 1.848 busetas, 3.418 microbuses, en su mayoría antiguos y en mal estado prestando un servicio deplorable y, actualmente se encuentra en proceso de transformación hacia el servicio Zonal del SITP, debido a su estructura desordenada son un de las causas del aumento de la congestión y accidentalidad en las principales vías de Bogotá.

**FIGURA 31. Buses, microbuses, colectivos.**



Fuente. Radio Santa Fe.



- **Taxis:** Los taxis son modos de transporte individual de pasajeros en vehículos amarillos que prestan el servicio bajo la responsabilidad de una empresa de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada sin sujeción a rutas y horarios, donde el usuario fija el lugar o sitio de destino.<sup>28</sup> Actualmente la flota de taxis en Bogotá está constituida por más de 50 mil taxis con una sobre oferta de 15 mil taxis<sup>29</sup>, con la peculiaridad que brindan un servicio regular y se encuentran amenazados por nuevas plataformas y servicios emergentes como resultado a su mal servicio (Uber). El servicio de taxis en Bogotá es utilizado por los estratos 4, 5 y 6 en donde se hacen el 75% de los recorridos.

**FIGURA 32. Servicio de Taxis Bogotá.**



Fuente. Movilidad Uniandes.

- **Uber:** Es un sistema de transporte público en crecimiento muy parecido al de los taxis amarillos con la excepción que es un servicio VIP especial (Blancos), este sistema funciona bajo la modalidad de una aplicación móvil donde los usuarios se registran en una plataforma con sus datos personales, no existe la opción de pago en efectivo, solo se hace por medio de una tarjeta de crédito<sup>30</sup>, en Bogotá Uber ha sido tema de controversia, sobre todo por parte del gremio de los taxistas que exigen que sean penalizados por prestar un servicio ilegal, hasta tal punto de agredir a usuarios y conductores de este servicio. Desde Noviembre del 2015 el Sistema Uber se encuentra en estudio para su legalización por parte del ministerio del transporte.

<sup>28</sup> Ministerio de transporte. Servicio público de servicio terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos Taxi. Decreto número 172 de 2001. P.2.

<sup>29</sup> Bogotá como vamos. La problemática de los taxis en el distrito capital, [Online]. [citado 10 Febrero 2016], Disponible en: <<http://www.bogotacomovamos.org/blog/la-problematica-de-los-taxis-en-el-distrito-capital/>>

<sup>30</sup> EL TIEMPO. Conozca Uber, la aplicación móvil para solicitar taxis VIP (30 Octubre de 2013). [Online]. [citado 19 Enero 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13151160>>

**FIGURA 33. Servicio VIP (UBER).**



Fuente. Pamela Aristizábal - El Espectador

- **Bicitaxis:** Este modo de transporte emergente, para muchos ilegal e inseguro, cuenta hoy en día con 3.500 Bicitaxistas en Bogotá<sup>31</sup>, principalmente prestan su servicio en localidades como Suba, Kennedy, Bosa y Ciudad Bolívar. La alcaldía de Bogotá en los últimos meses está desarrollando un decreto para su regulación y formalización como un sistema de transporte que aporta a la movilidad de pasajeros en los lugares donde el servicio de transporte público convencional no presta el servicio.

**FIGURA 34. Bicitaxis.**



Fuente. Archivo Publimetro.

En el estudio realizado por la CCB sobre la percepción ciudadana, la calificación de satisfacción y calidad de vida en los principales servicios de transporte público bajo durante los últimos años; en las troncales la calificación paso de 3,0 puntos a 2,5, el servicio zonal paso de 3,7 a 3,0 y el convencional 3,1 a 3,0 todos sobre 5 puntos, según resultados de esta última encuesta todos los usuarios de las troncales, zonales y demás modos de transporte público acotan que el **servicio de transporte público ha empeorado en el último año.**

La duración en los tiempos de viaje en promedio aumentaron para los usuarios en troncales de Transmilenio pasando de 63 a 75 minutos, zonales y transporte convencional se mantuvo entre 68 y 73 minutos.

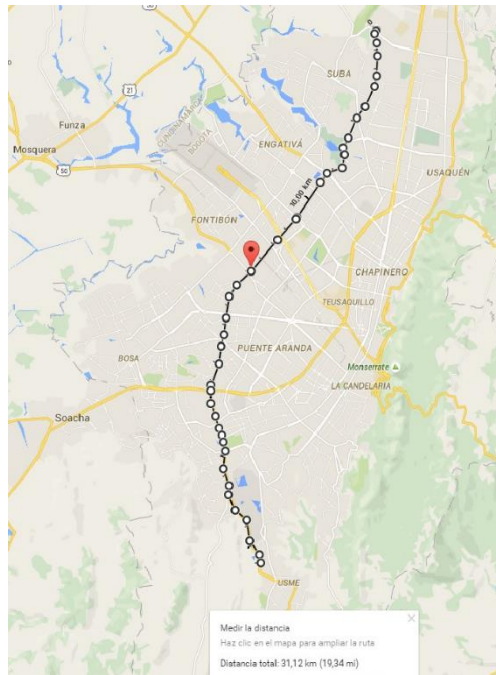
---

<sup>31</sup> Caracol Radio. Bicitaxis en Bogotá buscan legalizarse para prestar el servicio. (22 de Febrero 2016) [Online]. Disponible: < [http://caracol.com.co/emisora/2016/02/22/bogota/1456172171\\_508196.html](http://caracol.com.co/emisora/2016/02/22/bogota/1456172171_508196.html)>

En el transcurso del último año aumento la percepción de inseguridad en todo el servicio público de Bogotá, según resultados de la CCB cuatro de cada diez personas en troncales de Transmilenio no se sienten seguras, al igual que dos de cada diez en los zonales y **cinco de cada diez del transporte convencional**<sup>32</sup>

## 7. CORREDOR AVENIDA BOYACÁ.

FIGURA 35. Trazado Avenida Boyacá.



Este corredor es uno de los más importantes de la capital, atraviesa a Bogotá de Sur a Norte con una extensión de 32 kilómetros desde Yomasa en el sur, hasta la calle 170 en Suba, el tránsito en la avenida Boyacá es de tipo intermunicipal y de carga en ambos extremos, atravesando más de 40 barrios de siete localidades, sus principales intersecciones conectan a la ciudad de Oriente a Occidente, como las avenidas Villavicencio, Primero de Mayo, Américas, El dorado y las calles 13, 68, 80, 127 y 170.<sup>33</sup>

Esta arteria de movilidad tiene **capacidad para 10.000 vehículos por sentido** durante las horas pico, en el año 2007 este corredor tenía una velocidad promedio de 42.5Km/h, hoy en día registra velocidades **de 10Km/h** de Sur a Norte en horas pico.

Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.

Los camiones de carga pesada, buses, carros particulares, motos y su interacción en la vía resulta ser un escenario lamentable, para todos los usuarios que se desplazan por este corredor sin ninguna otra alternativa para llegar a sus lugares de destino, el deterioro de este corredor también es muy evidente en el eje vial del occidente bogotano, siendo uno de los corredores más peligrosos del país.

<sup>32</sup> Cama de comercio de Bogotá, Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones calidad y servicio a los usuarios del transporte de Transmilenio, SITP y TPC. 2014. P.6.

<sup>33</sup> EL TIEMPO. La avenida Boyacá es el corredor vial más largo y peligroso de Bogotá (14 Agosto de 2009). [Online]. [citado 21 junio 2016] Disponible: < <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5063269> >

El trazado longitudinal de la Avenida Boyacá no es uniforme en su totalidad, en algunos tramos de este corredor se puede evidenciar el aumento y disminución de los carriles, anchos de separador y anchos de andenes.

Este corredor durante los últimos años ha sido tema de estudio para la implementación del sistema Transmilenio, en los diseños esta troncal iniciara en el sector de Yomasa y termina en la calle 72, dividido en 5 tramos de estudio según la geometría y ancho transversal de la Avenida Boyacá.

#### **Tramo 1. Yomasa – Portal Tunal.**

Este tramo tiene 3 carriles por sentido (6 carriles) y un separador de 30m de ancho, con redes de alta tensión eléctrica a intervenir.

**FIGURA 36. Tramo1 Yomasa al Portal Tunal.**

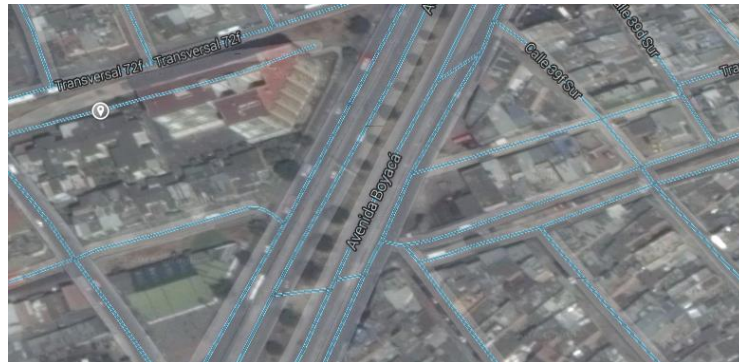


Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.

#### **Tramo 2. Portal Tunal-Calle 39 Sur.**

Este tramo tiene 4 carriles por sentido repartidos en una calzada rápida de 2 carriles y una calzada paralela de 2 carriles, con separador lateral de 2.5m de ancho y un separador central de 11.5m.

**FIGURA 37. Tramo2 Portal Tunal-Calle 39 Sur.**



Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.



### Tramo 3. Calle 39 Sur- Calle 22.

Este tramo tiene 4 carriles por sentido repartidos en una calzada rápida de 2 carriles y una calzada paralela de 2 carriles con un separador lateral de 2.5m de ancho y un separador central de 11.5m.

**FIGURA 38. Tramo3 Calle 39 Sur-Calle22.**



Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.

### Tramo 4. Calle 22-Calle 127.

Este tramo tiene 4 carriles por sentido repartidos en una calzada rápida de 2 carriles y una calzada paralela de 2 carriles con un separador lateral de 2.5m de ancho aproximadamente desde la calle 22 hasta la calle 70.

Adicionalmente en este tramo se encuentra el **canal Boyacá**, el cual separa los dos sentidos de circulación del corredor. A partir de la calle 63 se tiene 5 carriles por sentido, 3 carriles en la calzada rápida y 2 en la calzada paralela.

De la calle 70 a la calle 80 Este tramo tiene 5 carriles por sentido, 3 carriles en la calzada rápida y 2 en la calzada paralela con un separador lateral de 1.8 m de ancho aproximadamente y un separador central de 3.5m.

**FIGURA 39. Tramo4 Calle 22-Calle 127.**



Fuente. Editorial El tiempo.

**FIGURA 40. Tramo4 Calle 22-Calle 127.**

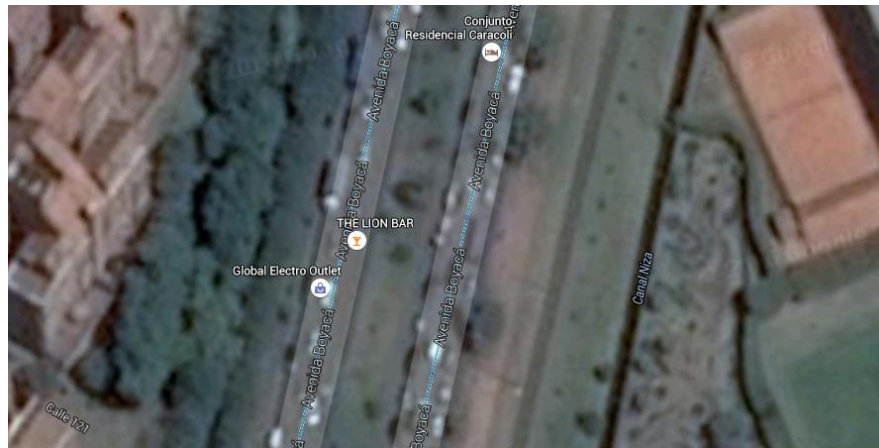


Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.

**Tramo 5. Calle 127-Calle 138.**

Este tramo tiene 3 carriles por sentido, y separador central de ancho variable desde 25m sobre la calle 116 hasta 1m en la zona de calatrava.

**FIGURA 41. Calle 127- Calle 138**



Fuente. Google Maps. Trazado Avenida Boyaca.

## 7.1 ¿QUE FACTORES INTERVIENEN EN LA PROBLEMÁTICA DE MOVILIDAD EN LA AVENIDA BOYACA?

La Avenida Boyacá es uno de los corredores más importantes de la capital y uno de los más peligrosos según reportes del fondo de prevención vial, de 20 puntos críticos en Bogotá 16 están ubicados en este corredor.

En términos de movilidad este corredor sentido Sur – Norte y viceversa, presenta grandes complicaciones diariamente, especialmente en las horas pico, donde la congestión a causa de toda clase de vehículos, satura la capacidad instalada de dicho corredor generado un sin número de factores que complican aún más la situación actual de este eje principal como; el deterioro de las vías aledañas a la avenida Boyacá como rutas alternativas para evitar al máximo el embotellamiento, la falta de señalización entre los cruces de ciclorutas con los vehículos particulares, la inseguridad de ciertos puntos por la falta de iluminación y acompañamiento de las autoridades competentes, el tiempo de semaforización de cruces con alto flujo de vehículos, el crecimiento urbano comercial e industrial, la falta de rutas SITP, el mal servicio del transporte convencional de busetas y colectivos en mal estado e imprudencias en la vía de los mismos, el flujo de camiones de carga, el incremento de motocicletas y automóviles, el aumento de servicios informales de transporte, el incremento de los índices de accidentalidad y principalmente la falta de cultura ciudadana (violación a la normativa de tránsito), como los factores determinantes en este trabajo de investigación.

**FIGURA 42. Congestión Av. Boyacá sector la Felicidad 6:30Am.**



Fuente. Propia.



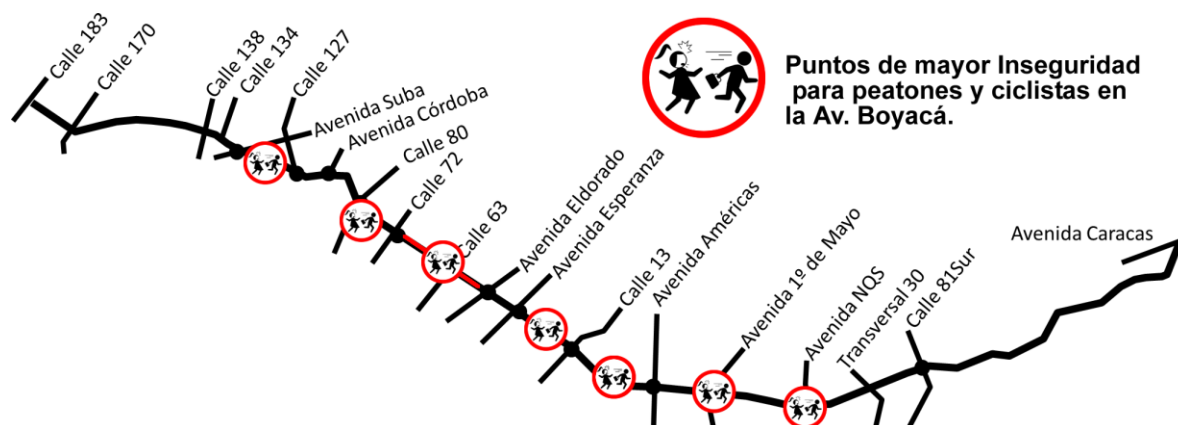
### 7.1.1 INSEGURIDAD.

Estudios realizados por la fundación Thomson Reuters en 16 ciudades del mundo en donde Bogotá arrojó ser la ciudad donde las mujeres se sienten más inseguras en el transporte público, en este estudio se realizaron 6.555 encuestas a mujeres de diferentes edades, donde se evaluó el acoso a las mujeres en el transporte público tanto verbal como físico, y la inseguridad misma a las que se ven enfrentadas todos los días al ingresar al transporte público de la capital, en el análisis de este estudio se encontró que las mujeres son más vulnerables en horas de la noche cuando hay menor presencia de las autoridades.<sup>34</sup>

La infraestructura existente a lo largo de la Avenida Boyacá es ineficiente en la distribución de paraderos y la falta de iluminación en gran parte de este corredor, convirtiéndose en uno de los focos de delincuencia e inseguridad para la mayoría de usuarios que esperan el transporte público en horas de la noche y algunos en horas de la madrugada.

Aunque la inseguridad no solo afecta a quienes usan el servicio público si no también aquellos que se movilizan en bicicleta en los puntos de mayor oscuridad y poca vigilancia por parte de la policía, estos hechos de delincuencia desincentivan a las personas el uso de la bicicleta como medio de transporte por temor de ser agredidos en su integridad moral y física<sup>35</sup>.

**FIGURA 43. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá.**



Fuente. Elaboración Propia.

<sup>34</sup> Semana. Bogotá: la ciudad más peligrosa para mujeres que usan el transporte público. (20 marzo 2016). [Online] [citado el 26 Junio 2016] Disponible: < <http://www.semana.com/nacion/articulo/bogota-la-ciudad-mas-peligrosa-para-las-mujeres-que-usan-transporte-publico/466220> >

<sup>35</sup> El Tiempo. Cada día se roban tres bicicletas en Bogotá. (29 Marzo 2016). [Online]. [citado el 26 Junio 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/robo-de-bicicletas-en-bogota/16549550>>

Según la Figura anterior la mayoría de los puntos críticos de inseguridad se localizan en los puentes que cruzan la avenida Boyacá, los cuales por su diseño son lugares propensos a cualquier tipo de actividades de robos y abusos por partes de los delincuentes, como es el caso de:

- **Av. Boyacá con Autopista Sur:** Este punto de alto flujo vehicular de Flotas buses y vehículos particulares, es un paradero no autorizado de viajeros que ingresan y salen por la parte del sur de Bogotá, los cuales resultan siendo víctimas de atracos por las paradas no autorizadas de las flotas intermunicipales en plena autopista Sur.

**FIGURA 44. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Autopista Sur)**



Fuente. Google Earth.

- **Av. Boyacá con Calle 26 (Av. El Dorado):** Este es otro de los puntos de inseguridad y falta de acompañamiento por parte de la policía, existe un paradero de SITP sentido Sur-Norte con poca iluminación.

**FIGURA 45. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. El dorado).**



Fuente. Google Earth.

- **Av Boyacá con Calle 13:** Este punto de gran concurrencia de transeúntes, por su ubicación en una zona comercial, industrial, y de vivienda, resulta siendo uno de los puntos más críticos por su iluminación, en horas de la noche los atracos son constantes por ser un lugar desolado después de las 7PM.

**FIGURA 46. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Calle 13)**



Fuente. Google Earth.

- **Av. Boyacá con Américas:** Al igual que la calle 13 su iluminación es insuficiente en horas de la noche para los transeúntes y ciclistas de la zona.

**FIGURA 47. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. Americas)**



Fuente. Google Earth.

- **Av. Boyacá con Primera de Mayo:** Este es uno de los puntos de máximo flujo de transeúntes, influenciado por una zona comercial y de rumba resulta un de los focos de máxima delincuencia, cabe resaltar que en este punto cuenta con un Cai de policía ubicado sobre la Av. Boyacá

**FIGURA 48. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Av. Primera de Mayo)**



Fuente. Google Earth.

- **Av. Boyacá entre Calles 26 y 70:** En este tramo se encuentra el Canal de aguas lluvias, el cual es usado como escondite de ladrones y refugios de habitantes de calle.



**FIGURA 49. Puntos críticos de inseguridad Av. Boyacá (Canal de Aguas Iluvias).**



Fuente. Editorial el Tiempo y Google Earth.

En conclusión, la inseguridad resulta un factor que desincentiva el uso del transporte público y el uso de la bicicleta, y por el contrario fomenta la compra de motos y automóviles como medios de transporte seguros, sin importar que los tiempos de desplazamiento resulten aún mayores.

### **7.1.2 CRECIMIENTO URBANO Y COMERCIAL.**

El crecimiento urbano sobre el área de influencia de la Avenida Boyacá, también es otro de los factores determinantes en la saturación de este corredor, debido a los futuros proyectos urbanísticos y comerciales en ejecución, que al día de hoy ya empiezan a tener afectación en la movilidad debido al tránsito de volquetas, mulas y de otros equipos de maquinaria pesada sobre la avenida Boyacá.

**FIGURA 50. Futuros proyectos AV. Boyacá.**



Fuente. Propia.

Actualmente la Avenida Boyacá cuenta con más de 15 puntos críticos que afectan la movilidad de esta troncal, debido a la salida y reincorporación de vehículos constantemente a supermercados, centros comerciales, plantas de producción, terminales de transporte dentro del área de influencia de la vía.

**FIGURA 51. Crecimiento Comercial AV. Boyacá.**



Fuente. La Republica. Forero Oliveros Gabriel. Octubre 2014.

El impacto que generan los centros comerciales a la movilidad de este corredor es significativo, especialmente los fines de semana, que son los días de mayor tránsito de vehículos en la ciudad, sin contar el aumento de accidentes leves a causa de la imprudencia de las personas por tratar de evadir la congestión de estos puntos críticos.

Uno de los referentes a tener en cuenta es el centro comercial Titán Plaza ubicado en la Calle 80 con Av. Boyacá, el cual recibe **35.000 personas a diario**<sup>36</sup>, y esta cifra se duplica los fines de semana. Cabe resaltar que aún hay proyectos pendientes como el centro comercial Multiplaza la Felicidad y El Eden (El más grande de Bogotá) ambos ubicados en ambos costados de la Avenida Boyacá con Calle 13, este punto de la avenida Boyacá será crucial debido al posible nudo de congestión que causaría estos centros comerciales en su funcionamiento en los años 2017 y 2018 a sus entregas.

En tema de proyectos de vivienda, se tiene previsto la construcción de un complejo urbano con más de 3.000 viviendas de interés social, parques, colegios y oficinas,

<sup>36</sup> La Republica. Trafico de la Avenida Boyacá sufre con cada apertura comercial que hacen. (27 Octubre 2014). [Online]. [citado 25 junio 2016] Disponible: <[http://www.larepublica.co/tr%C3%A1fico-de-la-avenida-boyac%C3%A1-sufre-con-cada-apertura-comercial-que-hacen\\_184996](http://www.larepublica.co/tr%C3%A1fico-de-la-avenida-boyac%C3%A1-sufre-con-cada-apertura-comercial-que-hacen_184996)>

en donde algún día funcione la cervecería de Bavaria<sup>37</sup>. Y el proyecto La Felicidad no muy lejos de del complejo urbanístico de Bavaria, contara con 17.000 viviendas, un colegio, una biblioteca, centros de salud y un Supercade, este proyecto se pretende que sea terminado en un periodo no más de 10 años<sup>38</sup>.

### **7.1.3 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR (CARROS).**

La secretaria de movilidad ha monitoreado todos los años la tendencia del incremento del parque automotor, en el 2002 había 679.299 vehículos, el año pasado la cifra llegó a 2'183.457. El parque aumento un 221,4%<sup>39</sup>

En los últimos siete años la velocidad promedio de desplazamiento disminuyó un 15% equivalente a 19,3 Km por hora, debido a la crisis de la movilidad urbana ha sido afectada por el aumento del parque automotor, la falta de vías e infraestructura para soportar la demanda, y el pésimo servicio del transporte público, llevando a las personas a migrar al uso del automóvil particular, se estima que en Bogotá hay un carro por cada 6 habitantes (Departamento Nacional de Planeación).

Entre los datos revelados por la CCB la dependencia del automóvil particular aumento 6 puntos porcentuales paso del 13% en el 2014 al 19% en el 2015, aumentando la congestión, contaminación y accidentalidad.

El aumento de del Parque automotor surge como respuesta a las medidas (push) como el pico y placa, y el déficit de calidad del transporte público, razones por las cuales los usuarios migran cada vez más al uso del automóvil y la motocicleta. Según la encuesta de la CCB el 5% de la población se moviliza en moto y el 14% en carro particular.

### **7.1.4 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR (MOTOS).**

El Aumento y el uso de las motos es otro factor de gran incidencia en la movilidad de Bogotá, durante los últimos cuatro años se duplicaron los viajes en este modo de transporte privado, con un aumento de 343.505 en el 2011 a 699,277 a Diciembre del año 2015, y en la última década el parque automotor paso de 40.000 motos a

---

<sup>37</sup> Dinero. Acupuntura Urbana. (19 Marzo de 2014). [Online]. Citado 25 Junio 2016]. Disponible: < <http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/megaproyecto-urbanistico-bavaria-metrovivienda/193553>>

<sup>38</sup> El Espectador. La Felicidad esta en Bogotá. (09 Junio de 2009). [Online]. Citado 25 Junio 2016]. Disponible: <http://www.elespectador.com/impreso/negocios/articuloimpreso148155-felicidad-esta-bogota>>

<sup>39</sup> El TIEMPO. Los habitantes de Bogotá pasan 21 días al año en trancones. (24 Enero de 2016). [Online]. Citado 10 Marzo 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/bogota-un-bogotano-pasa-21-dias-al-ano-en-trancones/16490105>>



400.000 motos, un incremento del 1.000% en Bogotá.<sup>40</sup> Se calcula que durante el año 2014 se matricularon 40.000 motocicletas aproximadamente cada 4 minutos una moto fue matriculada durante el 2014 en Bogotá.<sup>41</sup>

Según lo anterior la moto es uno de los principales medios de transporte usados por personas de estratos 1, 2 y 3, resultados obtenidos de encuestas realizadas en 28.212 hogares de Bogotá, Soacha y 16 municipios.

Una de las principales causas del uso indiscriminado de las motos en Bogotá se debe al deterioro del servicio público en materia de eficiencia, calidad y demanda, razón por la cual los usuarios migran al uso de la motocicleta. Además de ser una alternativa, es un medio de transporte muy económico en su adquisición, en el comercio cuentan con facilidades de pago y crédito enfocado a personas con bajos recursos.

En términos de seguridad vial las motocicletas son las principales causas de accidentalidad y mortalidad en Bogotá, en los últimos 11 años 1185 motociclistas han muerto, cifras entregadas por la secretaria de movilidad. La tendencia arroja que cada día mueren 19 motociclistas, en los primeros días de Diciembre de 2015 se presentaron 119 accidentes de motos, dejando 8 personas sin vida y 88 heridas. En promedio cada año se presentan **3.200 accidentes por el uso de las motocicletas**, dejando **98 personas muertas por año**.

**FIGURA 52. Motocicletas en Bogotá.**



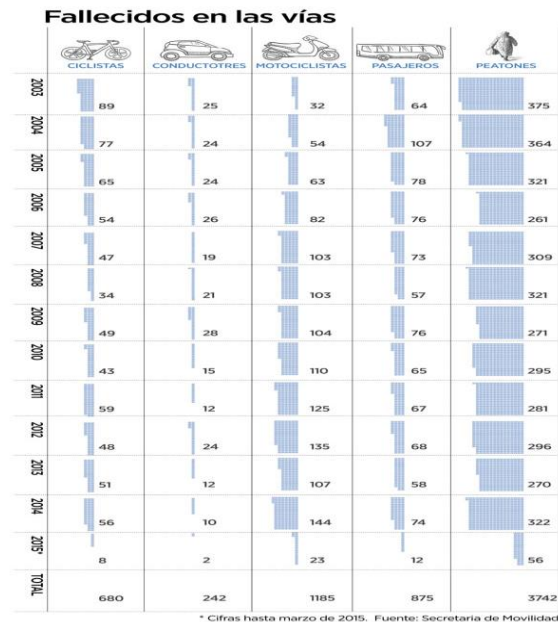
Fuente. Carlos Medina. Av. Boyacá y Autopista Sur (Respectivamente)

<sup>40</sup> EL TIEMPO. Uso de la moto en Bogotá se duplico en 4 años. (19 Diciembre de 2015). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible:

<<http://www.eltiempo.com/bogota/motos-en-bogota-uso-se-duplico-en-4-anos/16462851>>

<sup>41</sup> EL ESPECTADOR. 500.000 motos se movilizarían en Bogotá para el 2017. (03 Enero 2015). [Online]. [Citado 12 Marzo de 2016]. Disponible: <<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/500000-motos-se-movilizarian-bogota-2017-articulo-536085>>

**FIGURA 53. Fallecidos en las vías de Bogotá.**



Fuente. Secretaria de Movilidad. 2015

Las horas de mayor tránsito de motocicletas son en horas de la mañana entre las 5AM y las 8AM aproximadamente se realizan 1' 951.871 viajes diarios en Bogotá.

Los puntos más peligrosos para las motos según los datos obtenidos por la secretaria de movilidad son: **la Avenida Boyacá, la NQS**, la Caracas, la avenida ciudad de Cali, La avenida Carrera 68 y **la Autopista Sur**.<sup>42</sup>

La cultura ciudadana juega un papel importante en toda esta problemática así no sea tan evidente, en la mayoría de los casos de accidentalidad está directamente relacionada con la cultura, de hecho la mayoría de los motociclistas que circulan por las principales vías, no son conscientes con sus acciones, como: la facilidad que tienen para ir en contravía, circular entre los carros ó transitar por encima de los andenes y puentes, no es raro que para algunos la movilidad en Bogotá no es la mejor y que cada vez está deteriorada por infinidad de factores, y los motociclistas son los más vulnerables en las vías y los más imprudentes.

En tema de infraestructura Bogotá no cuenta con vías diseñadas y apropiadas para los motociclistas, como algunos lugares en el mundo. En Vietnam las motos juegan un papel significativo en el crecimiento económico en las últimas décadas, pero hoy

<sup>42</sup> Publimetro. Motos ¿Un problema para la movilidad en Bogotá? (06 Enero 2016). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible: <<http://www.publimetro.co/bogota/motos-un-problema-para-la-movilidad-en-bogota/lmkoed!NIDXmJIESORFo/>>

en día son la causa principal de la contaminación atmosférica en sus principales ciudades Hanoi y Ho Chi Minh. Debido a que la mayoría de estos vehículos cuentan con motores ineficientes (motores de dos tiempos), y emiten una gran cantidad de material particulado dañino para la calidad del aire ya que son 100.000 veces más contaminantes que otros vehículos motorizados. La contaminación del aire en Vietnam esta tan avanzada que ya existen empresas dedicadas en la comercialización de purificadores de Aire.<sup>43</sup>

Hoy Vietnam vive uno de los principales caos de movilidad a nivel de motociclistas, en 1996 existían alrededor de 4 millones de motos, y hoy la cifra está alrededor de los 40 millones de motos para una población de 94 millones de habitantes. Según noticiarios de la región el tráfico en Vietnam aumenta entre un 12 y 15 por ciento cada año. En Ho Chi Minh cuenta con una población de 9 millones de habitantes y diariamente se matriculan 139 automóviles y 750 motos.

**FIGURA 54. Motocicletas en Vietnam.**



Fuente: Video YouTube, "ATASCO DE MOTOS EN VIETNAM" Viralinga. Publicado. 14 Julio 2014<sup>44</sup>.

Según lo anterior el parque automotor de motos representa un problema muy significativo en la movilidad de cualquier país del mundo, aparentemente es un modo de transporte eficiente en términos de economía y tiempos de desplazamiento en ciudades con índices de congestión bajas, pero en Bogotá representa un porcentaje significativo dentro de la problemática de congestión y movilidad por su alta demanda y ocupación de la capacidad de la infraestructura instalada en las vías de la capital. Lo cual indica que se deben tomar cartas en el asunto y medidas

---

<sup>43</sup> El Espectador. Las motos, principal causa de la elevada contaminación atmosférica en Vietnam. (09 Diciembre 2015). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible: <<http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/motos-principal-causa-de-elevada-contaminacion-atmosfer-articulo-604526>>

<sup>44</sup> YOUTUBE, Sin autor, (2014). ATASCO DE MOTOS EN VIETNAM. [Video Online]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=cBttY89Di-c>

concretas para frenar el crecimiento desbordado, con peajes y/o pico y placa (sin posibilidad de comprar otra moto) para este tipo de vehículos, actualmente las motos menores de 125 cc cúbicos no pagan ningún tipo de impuesto.<sup>45</sup>

Últimos reportes revelados por la secretaria de Movilidad de Bogotá, en promedio cada tercer día muere un motociclista a causa de un accidente de tránsito y 11 resultan lesionados, en lo transcurrido del 2013 al 2016, el 23.5% de los accidentes involucran a los motociclistas.

En el trabajo de campo realizado los últimos meses (Aforos), en promedio transitan 1.545 motos hora sentido por la Avenida Boyacá.

#### **7.1.5 ACCIDENTALIDAD DE LOS CICLISTAS.**

El uso de la bicicleta en Bogotá juega un papel muy importante en el desarrollo de la movilidad sostenible, es por eso que el plan maestro de movilidad, busca priorizar el uso de este medio de transporte sobre los modos de transporte motorizados, concientizando a las personas de las ventajas y beneficios como medio de transporte alternativo.

La bicicleta hoy en día es conocida como el modo de transporte más económico y versátil de la historia del hombre, el espacio que ocupa una bicicleta es 20 veces menor que el de un vehículo convencional, y eficiente un 100%, ya que no necesita combustibles no renovables para su funcionamiento, se estima que el uso de las bicicletas en un año podría ahorrar un equivalente de 240 millones de galones de gasolina, y reducir la contaminación atmosférica, y a su vez mejorar la salud de quienes ya hacen de la bicicleta parte fundamental de su vida diaria.

Uno de los ejemplos más representativos en donde la bicicleta es la columna vertebral del transporte es Zúrich-Suiza, el 22% de la población se moviliza en automóvil y un 50% en transporte no motorizado como caminar y usar la bicicleta.

Otro ejemplo es Copenhague-Dinamarca otra ciudad con los mejores índices de calidad de vida, quienes usan la bicicleta representan un 36% de la población, esto es un claro ejemplo que la bicicleta no es solo usada por las clases menos favorecidas si no por el contrario es un medio de transporte tan versátil y ejemplar que muchos ejecutivos llegan a sus destinos de trabajo en este medio de

---

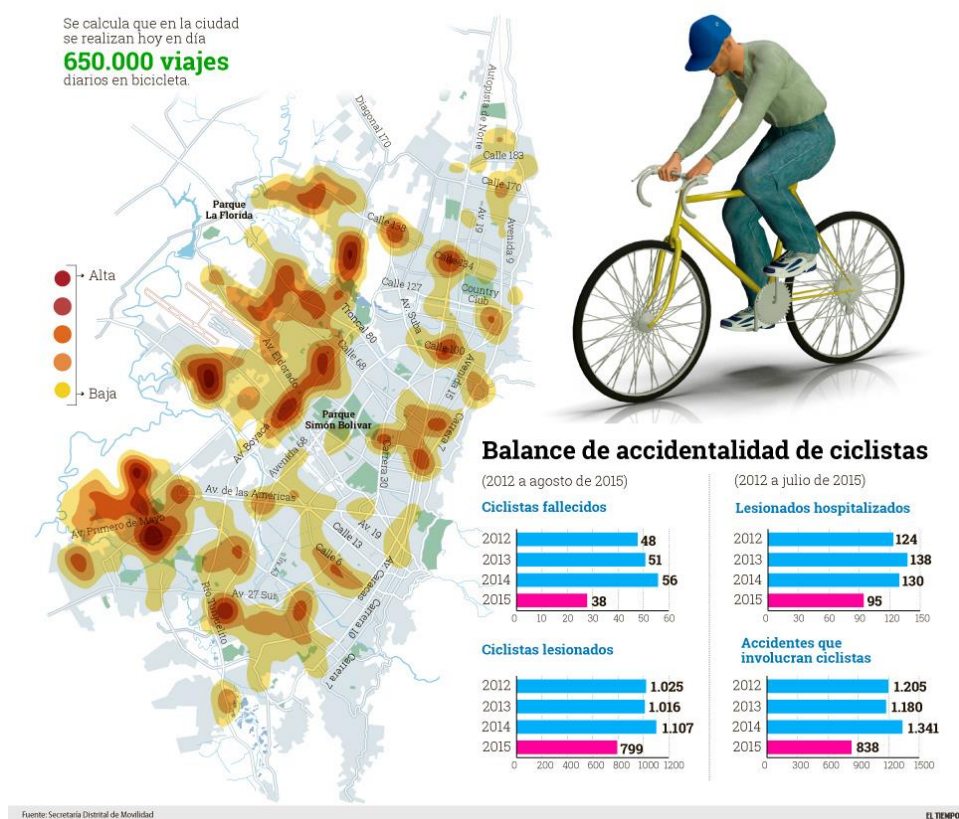
<sup>45</sup> El Espectador. En Bogotá analizan posibilidad de implementar peajes y pico y placa para motos. (05 Noviembre 2014). [Online]. [citado 06 marzo 2016] Disponible:  
< <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/bogota-analizan-posibilidad-de-implementar-peajes-y-pic-articulo-525905>>

transporte, sin mencionar que su cultura los incentiva hasta el mismo lugar de trabajo al uso de este modo de transporte sostenible.

En Bogotá el uso de la bicicleta creció un 11% con respecto al año 2014, este medio de transporte lo usan personas entre los 25 y 34 años, es más usado por los hombres en un 77,1% y las mujeres en un 22,9%, Según la secretaria de movilidad las bicicletas realizan 750.000 viajes diarios con una infraestructura al 2014 de 392 Km de ciclorutas construidas<sup>46</sup>.

A si mismo los índices de accidentalidad han ido aumentando proporcionalmente al uso de la bicicleta las principales causas de accidentes al 2012 fueron el choque con vehículos motorizados, el 73% de los vehículos involucrados en accidentes de tránsito que involucran a la bicicleta es de tipo servicio particular y el 23% de servicio Público.<sup>47</sup>

**FIGURA 55. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá.**



Fuente: El TIEMPO, Balance de accidentalidad de ciclistas. Publicado. 02 Octubre de 2015.

<sup>46</sup> CCB, Observatorio de movilidad. Reporte anual de movilidad 2014, Octubre de 2015, No. 8. P. 23.

<sup>47</sup> Secretaria distrital de movilidad, Análisis accidentalidad con bicicletas en la ciudad de Bogotá para los años 2007 a 2012. Bogotá. 2014. P. 23.



Cifras de la secretaria de movilidad entre el 2003 y finales del 2015 murieron 710 ciclistas en accidentes de tránsito en la capital. Las principales causas de accidentalidad entre los ciclistas, es el déficit de infraestructura que garantice su seguridad, la imprudencia de algunos ciclistas en las intersecciones y cruces, el no uso de los implementos de seguridad como casco y chaleco reflectivo, y la falta de cultura ciudadana en las vías de Bogotá.

La accidentalidad de acuerdo a la infraestructura entre los años 2007 al 2012 en Bogotá se distribuyó según la siguiente tabla. (Tabla No. 01)

**TABLA 04. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá acorde a la infraestructura disponible.**

| <b>Infraestructura</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>Total</b> | <b>Total%</b> |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Tramo de Vía           | 896         | 634         | 568         | 665         | 696         | 791         | 4250         | 68,15%        |
| Intersección           | 349         | 244         | 245         | 312         | 303         | 372         | 1825         | 29,27%        |
| Paso elevado           | 9           | 3           | 6           | 11          | 6           | 14          | 49           | 0,79%         |
| Glorieta               | 9           | 7           | 4           | 4           | 8           | 8           | 40           | 0,64%         |
| Ciclo ruta             | 0           | 1           | 5           | 9           | 2           | 9           | 26           | 0,42%         |
| Vía peatonal           | 3           | 1           | 2           | 6           | 1           | 6           | 19           | 0,30%         |
| Lote o predio          | 0           | 1           | 4           | 4           | 1           | 3           | 13           | 0,21%         |
| Paso inferior          | 1           | 1           | 1           | 3           | 0           | 0           | 6            | 0,10%         |
| Puente                 | 1           | 2           | 0           | 1           | 0           | 2           | 6            | 0,10%         |
| Paso de nivel          | 1           | 0           | 0           | 1           | 0           | 0           | 2            | 0,03%         |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1269</b> | <b>894</b>  | <b>835</b>  | <b>1016</b> | <b>1017</b> | <b>1205</b> | <b>6236</b>  | <b>100%</b>   |

Fuente: Secretaria distrital de movilidad, Análisis accidentalidad con bicicletas en la ciudad de Bogotá para los años 2007 a 2012. Bogotá. 2014. P. 30.

Otra de las causas fundamentales en las que se ven implicados los ciclistas en Bogotá es la falta de cultura ciudadana convertida en imprudencia, ver Tabla No. 02.

**TABLA 05. Accidentalidad de ciclistas en Bogotá acorde a la imprudencia.**

| <b>Infraestructura</b>             | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>Total</b> | <b>Total%</b> |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Desobedecer las señales            | 71          | 68          | 52          | 42          | 54          | 86          | 373          | 5,98%         |
| Ciclista/motociclista              | 49          | 41          | 14          | 3           | 5           | 14          | 126          | 2,58%         |
| No respetar prelación              | 24          | 23          | 15          | 267         | 36          | 36          | 161          | 2,58%         |
| No mantener distancia de seguridad | 20          | 22          | 23          | 27          | 33          | 36          | 161          | 2,02%         |
| Exceso de velocidad                | 17          | 18          | 13          | 19          | 16          | 36          | 119          | 1,91%         |
| Embriaguez aparente                | 22          | 31          | 16          | 12          | 10          | 8           | 99           | 1,59%         |
| Embriaguez o droga                 | 12          | 24          | 16          | 15          | 15          | 15          | 97           | 1,56%         |



|                                           |             |            |            |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Adelantar cerrando                        | 12          | 9          | 6          | 21          | 20          | 25          | 93          | 1,49%       |
| Transitar por vías prohibidas             | 12          | 8          | 7          | 8           | 4           | 9           | 48          | 0,87%       |
| Adelantar invadiendo vía                  | 9           | 9          | 6          | 10          | 10          | 10          | 54          | 0,77        |
| Transportar otra persona o cosa           | 9           | 8          | 6          | 0           | 7           | 4           | 34          | 0,55%       |
| Transitar por calzadas destinadas a buses | 2           | 6          | 7          | 4           | 2           | 7           | 28          | 0,45%       |
| Cambio de carril sin indicación           | 3           | 4          | 6          | 6           | 4           | 0           | 23          | 0,37%       |
| Semáforo en Rojo                          | 1           | 4          | 3          | 1           | 1           | 13          | 23          | 0,37%       |
| Arrancar sin precaución                   | 4           | 2          | 0          | 5           | 3           | 6           | 20          | 0,32%       |
| Huecos                                    | 2           | 5          | 2          | 2           | 4           | 4           | 19          | 0,30%       |
| Adelantar en zona prohibida               | 1           | 4          | 2          | 1           | 4           | 4           | 16          | 0,26%       |
| Reverso Imprudente                        | 2           | 2          | 4          | 2           | 5           | 0           | 15          | 0,26%       |
| Cambio de carril sin indicación           | 0           | 0          | 0          | 0           | 0           | 16          | 16          | 0,24%       |
| Adelantar por la derecha                  | 3           | 0          | 3          | 1           | 4           | 3           | 14          | 0,22%       |
| Fallas en los frenos                      | 4           | 2          | 1          | 0           | 4           | 1           | 12          | 0,19%       |
| No hacer uso de las señales reflectivas   | 0           | 6          | 4          | 1           | 0           | 1           | 12          | 0,19%       |
| Transitar entre vehículos                 | 0           | 6          | 2          | 0           | 0           | 3           | 11          | 0,18%       |
| Otras                                     | 990         | 592        | 627        | 809         | 776         | 868         | 4662        | 74,76%      |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>1269</b> | <b>894</b> | <b>835</b> | <b>1016</b> | <b>1017</b> | <b>1205</b> | <b>6236</b> | <b>100%</b> |

Fuente: Secretaria distrital de movilidad, Análisis accidentalidad con bicicletas en la ciudad de Bogotá para los años 2007 a 2012. Bogotá. 2014. P. 31.

Según la tabla anterior se puede analizar que las causas más comunes de accidentalidad por parte de la imprudencia de los ciclistas es la omisión de las señales de tránsito, transitar en zonas prohibidas, no respetar la prelación, entre las más frecuentes con un porcentaje del 25,24%.

#### 7.1.6 OTROS MEDIOS DE TRANSPORTE EN CRECIMIENTO.

El efecto domino a causa de la problemática de movilidad en este corredor, ha generado la incorporación de nuevos modos de transporte no reglamentados, como el uso de las “bicicletas motorizadas”, bien sean eléctricas y/o con motores a combustión. Hoy en día estos nuevos modos de transporte se movilizan por ciclorutas y andenes de la Avenida Boyacá, representando un riesgo más tanto para los peatones, como a los mismos ciclistas.

La comercialización de este nuevo medio de transporte, según ACVE (Asociación Colombiana de vehículos eléctricos), a Mayo del 2016, se han vendido más de 20.000 bicicletas eléctricas sin contar las bicicletas con motores a Gasolina, que se estima que serían mayor en número.

Lo que llama la atención a muchos es el riesgo que representa este tipo de vehículos, unos se desplazan a velocidades que superan los 25km/h (la máxima velocidad permitida en las ciclorutas de Bogotá), otros son muy robustos para movilizarse por las ciclorutas y puentes peatonales, sin mencionar la contaminación auditiva y ambiental que generan las bicicletas a combustión, pero lo más importante es que la mayoría de estos usuarios son mujeres de estratos medios y bajos, la percepción de las mujeres al utilizar este medio de transporte es la versatilidad y seguridad que tienen al movilizarse por las ciclorutas lejos del tráfico de los vehículos<sup>48</sup>.

**FIGURA 56. Bicicletas a motor.**



Fuente: El TIEMPO. Bicicletas motorizadas, polémica sin regulación. Publicado. 30 Mayo de 2016.

### **7.1.7 TRANSPORTE PÚBLICO OBSOLETO.**

El transporte público conformado por Buses, busetas y colectivos, que se movilizan a lo largo de la Avenida Boyacá, también hacen parte del caos del transporte público, el servicio es obsoleto, inseguro, peligroso e ineficiente para los usuarios que diariamente se ven obligados a tomar este servicio que ya cumplió su ciclo de vida, y ya está próximo a ser reemplazado por el sistema integrado de transporte Publico, también llamados SITP, estos buses padrones que a la fecha ya se encuentran circulando por este corredor en un 60%, y pendientes por implementar un 40% correspondientes a las rutas de buses y busetas que actualmente siguen prestando el servicio, entre ellas la ruta Soacha – Av. Boyacá hasta la calle 80, esta ruta en especial es una de las más críticas, debido al volumen de pasajeros que se transportan a diario desde el Municipio de Soacha, hasta el norte de la capital por este corredor, se estima que a diario se movilizan por esta ruta unas 300.000 personas.<sup>49</sup>

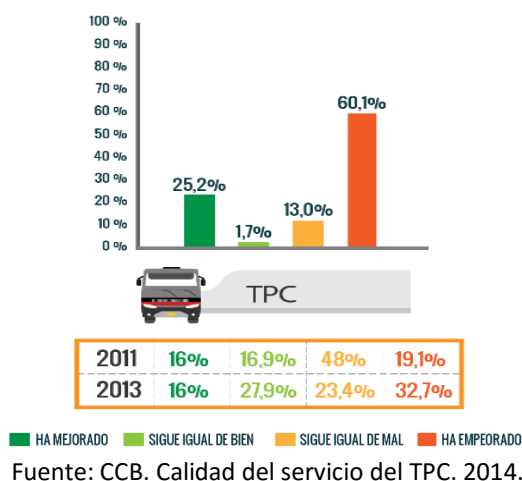
<sup>48</sup> El Tiempo. Bicicletas motorizadas, polémica sin regulación. (30 Mayo 2016). [Online]. [Citado 26 Junio 2016]. Disponible: < <http://www.eltiempo.com/bogota/bicicletas-motorizadas-no-tienen-regulacion/16606713>>

<sup>49</sup> El Tiempo. Si no hay arreglo en Soacha, empresas de buses irían a paro. (02 Mayo 2016). [Online]. [Citado 26 Junio 2016]. Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/cambios-en-las-rutas-de-buses-en-soacha/16580556>>

En esta etapa de transición del sistema colectivo al SITP, ha generado un sin número de inconformidades por parte del gremio de transportadores de Soacha, quienes reclaman y se niegan a ceder las rutas por la entrada en vigencia de la resolución 813 de 2015, que les recortaría el trayecto hasta la calle 26, la cual llegaba hasta la calle 80, provocando protestas y problemas en la movilidad no solo de la Avenida Boyacá si no del transporte del Sur de la capital.

Según resultados de la encuesta de percepción ciudadana de la CCB, el transporte público colectivo TPC, es principalmente usado por los estratos 2 y 3 con un porcentaje del 44.4% y 48% respectivamente del total de los viajes realizados en este medio de transporte, con tiempos promedio de recorrido Origen-Destino de 73 minutos en el último año.

**FIGURA 57. Calidad del servicio.**



Fuente: CCB. Calidad del servicio del TPC. 2014.

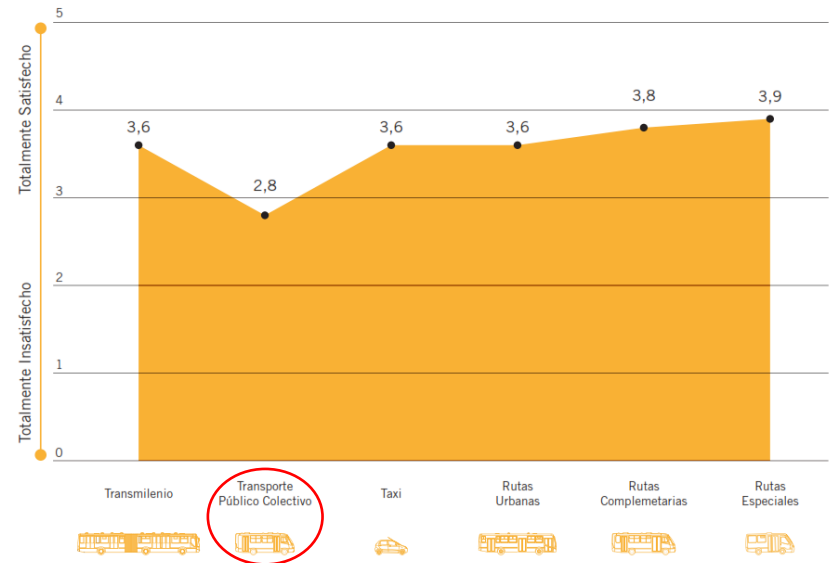
Según la figura 52. La percepción de calidad del servicio público colectivo por parte de los usuarios ha empeorado en un 60.1% al 2014, esto se debe en su mayoría a las imprudencias que se realizan a diario en las vías de Bogotá.

Uno de los principales causales de imprudencia por parte de este gremio es la guerra del centavo, recoger el mayor número posible de pasajeros hasta completar más del 100% de la capacidad de los buses, uno de los grandes problemas de la calidad del servicio, sin contar la velocidad y las maniobras peligrosas que ponen en riesgo a todos los usuarios que transitan por esta vía.

En cuanto a la calidad, estos buses presentan un servicio deplorable en términos de ergonomía y seguridad, sus instalaciones y confort no son las más adecuadas para la cantidad de personas que usan el servicio y más cuando el hacinamiento es una realidad en las horas pico, es evidente que estos buses deben ser reemplazados con urgencia, ya que internacionalmente no cumplen con los

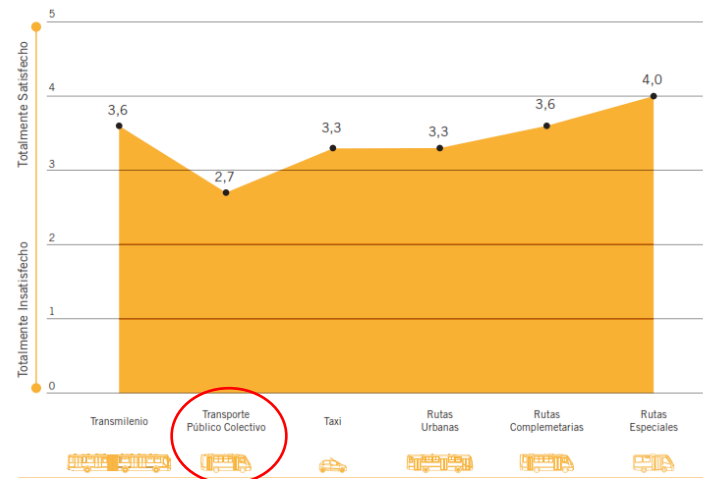
estándares de calidad correspondientes para prestar un servicio de transporte de pasajeros, por el contrario representan un riesgo por el mal estado en el que se encuentran.

**FIGURA 58. Satisfacción del estado físico del servicio público de Bogotá.**



Fuente: Contrato de Consultoría 20132051 - Gloria Gallego Sigma Dos Internacional S.A.S. 2014

**FIGURA 59. Precaución al volante del transporte Publico.**



Fuente: Contrato de Consultoría 20132051 - Gloria Gallego Sigma Dos Internacional S.A.S. 2014

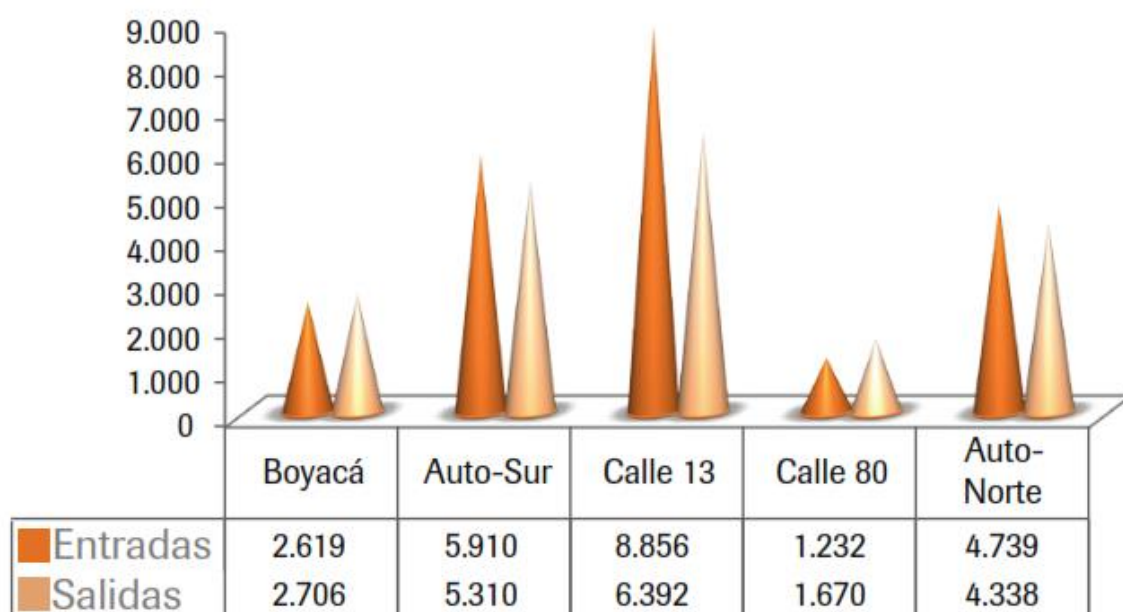
Según la figura 54, los conductores de servicio público colectivo son los más imprudentes al volante, según la percepción de los usuarios que toman este servicio de transporte.

### 7.1.8 TRANSPORTE DE CARGA.

La ciudad de Bogotá por ser una de las ciudades más importantes de Colombia, es un punto estratégico de atracción y salida de carga, anualmente se movilizan en Bogotá 11 millones de Toneladas anuales<sup>50</sup>.

Por ende, el volumen de camiones que transita por las principales vías de la capital tienen gran incidencia en la movilidad, especialmente en la Avenida Boyacá y la calle 13 donde los registros de ingreso y salida son del orden de 20.500.

**FIGURA 60. Aforos de tráfico de Carga en Bogotá.**



Fuente: Secretaria distrital de Movilidad. 2012.

Cabe resaltar que la circulación de carga en Bogotá está regulada a través del Decreto 112 de 1994, donde se reglamenta la circulación de vehículos de carga mayores a 5 Toneladas de 6:30 a 9:00 de la mañana y de las 6 a 8 de la noche de Lunes a Viernes, lo cual empeora la circulación en las horas pico.

### 7.1.9 IMPRUDENCIA Y FALTA DE CULTURA CIUDADANA.

Tristemente estos son los principales factores que inciden en la accidentalidad en las vías de Bogotá, no solo la problemática de movilidad se le atribuye al déficit de infraestructura ni la capacidad y efectividad de los modos de transporte público, la

<sup>50</sup> Camara de comercio de Bogotá. ¿Cómo mejorar la movilidad de los Bogotanos?. Bogotá D.C. Septiembre de 2015. p. 74.

imprudencia de los peatones, los conductores, ciclistas y usuarios que se movilizan por Bogotá son la causa inicial de toda la problemática de movilidad urbana de hoy en día.

Para algunos el ambiente caótico de Bogotá es un tema que no tiene solución, y por ende la mayoría de las personas, no contribuyen a mejorar la calidad de vida de quienes transitan y se movilizan responsablemente, aun así sumándole la falta de concientización, el estrés, el ambiente laboral, son factores que inciden en la realización de actos inseguros en las calles y vías de la ciudad como: el no uso adecuado de las cebras, puentes peatonales y omisión de las señales tránsito, como las principales causas de accidentalidad. Datos de la secretaria de movilidad indican que el 21% de los peatones cruzan sin observar, y el 10,2% de los peatones No usan los pasos peatonales, se estima que cada 32 horas fallece un ciudadano que se desplaza a pie.<sup>51</sup>

Durante el año 2015 se reportaron 4.162 accidentes con participación de peatones, así mismo fallecieron 262 y 4.262 resultaron lesionados, en la gran mayoría las víctimas tuvieron la culpa los mismos peatones. En el transcurso de 2015 se emitieron alrededor de 2.523 comparendos a peatones por poner en peligro su integridad.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> Terra Colombia. Los puntos más riesgosos para los peatones en Bogotá. (Agosto 2015). [Online].

Disponible <<http://noticias.terra.com.co/colombia/los-puntos-mas-riesgosos-para-peatones-en-bogota-vias-cifras,5c3a0c640fb9bd6cbb9797da649407c2b9zRCRD.html>>

<sup>52</sup> Malaver. Carol. EL TIEMPO. “Un peatón imprudente tiene a mi hijo en silla de ruedas”. (08 Marzo de 2016)

[Online] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/cifra-de-infracciones-y-comparendos-para-peatones-imprudentes-en-colombia/16530789>>



## **8. VIABILIDAD TÉCNICA DE UN SISTEMA ELEVADO DE TRANSPORTE PÚBLICO.**

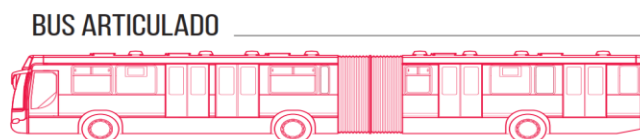
En este capítulo, se describe la viabilidad técnica, de los sistemas elevados de transporte público, en comparación a los sistemas de transporte actuales, como una alternativa para la movilidad de la Avenida Boyacá, bajo la estructura de un marco comparativo, donde se justificarán las bondades y beneficios que no poseen los principales modos convencionales de transporte público de Bogotá.

### **8.1 SISTEMAS ELEVADOS Vs SISTEMAS CONVENCIONALES A NIVEL, DE TRANSPORTE PÚBLICO.**

En este marco comparativo se tomaron los principales modos de transporte público de Bogotá, como: el sistema Transmilenio (BRT) y el servicio de buses de colectivos (TPC), bajo diferentes escenarios determinantes para el alcance del objeto del presente trabajo.

#### **8.1.1 INFRAESTRUCTURA.**

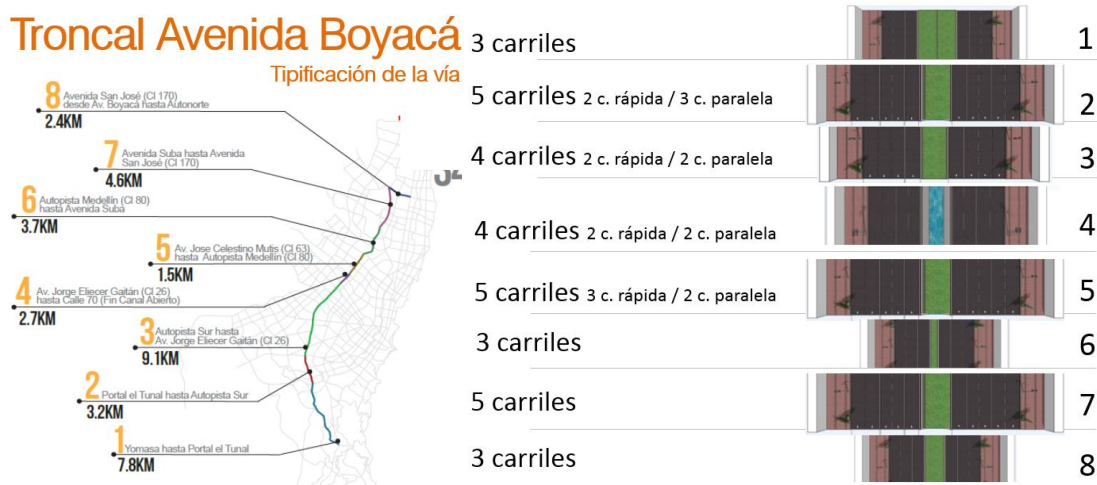
Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, la movilidad de la avenida Boyacá se encuentra colapsada por la saturación de la capacidad instalada, a casusa del sobrecupo del parque automotor tanto del servicio particular, de carga y de servicio público convencional, lo cual se traduce en una infraestructura ineficiente para el volumen de vehículos que transitan diariamente por este corredor.



Durante los últimos meses se presentaron los diseños y estudios de ingeniería por parte del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), quienes ya tienen previsto la construcción de la troncal de transmilenio por este corredor, pero hay que tener en cuenta ciertas restricciones, que serían de gran impacto para la movilidad de la avenida Boyacá, con la futura implementación del servicio, ya que estos buses articulados requieren de ciertas especificaciones técnicas y de diseño para su operación como lo son: la ocupación de los carriles existentes, la intervención de redes de servicios y la reincorporación a los carriles mixtos a causa de la Red matriz de Tibitoc, la cual no puede ser intervenida por los grandes costos que implicaría esta obra civil.

Dentro de los diseños del IDU, se tienen contemplados 8 tipologías de ancho transversal de vía, por donde se construirá esta troncal reduciendo la capacidad de la vía existente de la Avenida Boyacá.

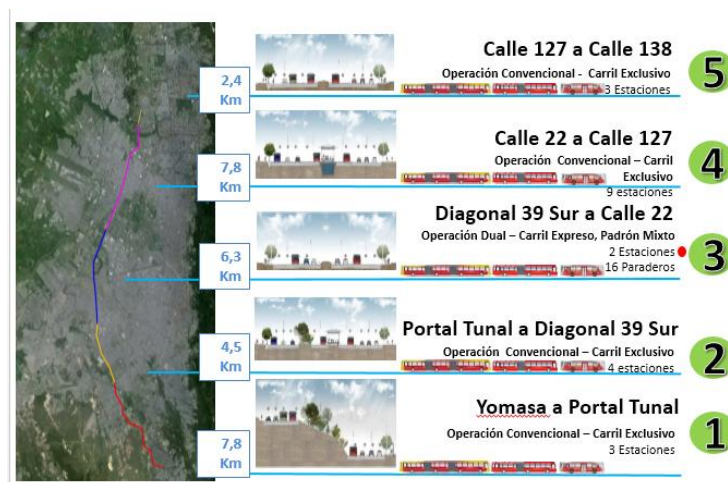
**Figura 61. Tipología Anchos de Carril transversal Av. Boyacá – Transmilenio.**



**Fuente.** Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). infraestructura: mejoramiento y nuevas construcciones para optimizar la operación del sistema integrado de transporte público – sitp. Diapositiva No. 44

Según la figura anterior se puede observar que el trazado de la Avenida Boyacá no es uniforme en su totalidad, presentado anchos transversales críticos (angostos), los cuales implican cuellos de botella tanto para los articulados y los carros particulares, reduciendo el flujo y la velocidad del este corredor, sin contar la posible reincorporación de los articulados en los carriles mixtos.

**Figura 62. Diseños Tramos trasversales Av. Boyacá – Transmilenio.**



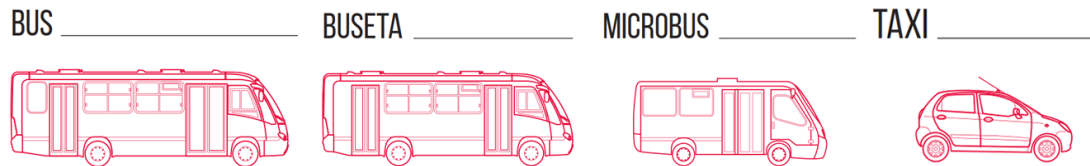
**Fuente.** Licitación pública No. idu-lp-sgi-019-2015. Anexo técnico Separable. Noviembre 2015. p. 07

**Figura 63. Tipología Diseños Tramos transversales Av. Boyacá – Transmilenio.**



**Fuente.** Licitación pública No. idu-lp-sgi-019-2015. Anexo técnico Separable. Noviembre 2015. p. 08-09

En términos de ocupación del espacio vial según la Figura No. 03, Transmilenio necesitaría un ancho transversal de vía promedio de 20mts, para la construcción de estaciones (5mts) y carriles preferenciales (3.50 por carril), a lo largo de la Avenida Boyacá, según diseños e información de la licitación pública No. idu-lp-sgi-019-2015.



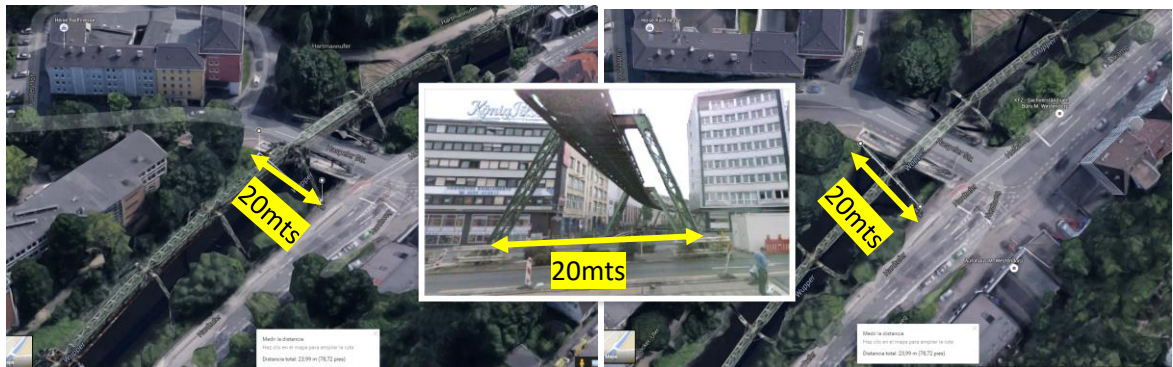
En el caso del sistema de transporte público colectivo (TPC), no se necesita una infraestructura especial como la de Transmilenio, este tipo de servicio se encuentra condicionado a la infraestructura actual disponible, la cual presenta un nivel de saturación del espacio de la vía, demasiado alto, generando la congestión diaria de esta vía, por ser un servicio de transporte desordenado y desarticulado.

#### MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO



Para la implementación del sistema monorriel suspendido, el ancho transversal necesario para la construcción de la estructura que soporta todo el material rodante es de 20mts promedio, con la posibilidad de aprovechar el área libre del nivel del suelo, para el uso de ciclorutas ó vías para la circulación de otros modos de transporte como es el caso del monorriel de Wuppertal y Chiba.

**Figura 64. Ancho transversal de vía Monorriel suspendido de Wuppertal Alemania.**



**Fuente.** Google Maps.



**Figura 65. Ancho transversal de vía Monorriel suspendido de Chiba – Japón.**



**Fuente.** Google Maps.

A diferencia del monorriel suspendido de Wuppertal, el monorriel de Chiba Japon cuenta con una estructura versátil para cualquier zona urbana, con un ancho máximo de vía de 20mts (tipo pórtico), hasta un mínimo de 3mts (tipo pilar), como se muestra en a figura No. 05. Este sistema de transporte público es ideal para la implementación en cualquier zona urbana, aprovechando al máximo el espacio o área libre disponible de los separadores de la Avenida Boyacá.

## **MONORRIEL ELEVADO**



En el sistema de monorriel elevado, el uso del espacio es similar al monorriel suspendido de Chiba-Japón, la estructura se compone por pórticos y pilares a lo largo de su trazado, dependiendo la geometría de la zona urbana a implementar, este sistema por ser de mayor capacidad y magnitud en términos técnicos, es construido en concreto de alta resistencia y algunos elementos estructurales en estructura metálica. Siendo una estructura eficiente en términos de ergonomía, para el aprovechamiento del espacio que se encuentra debajo de la estructura de las vigas-guía, como es el caso del monorriel elevado de Sao pablo – Brasil.

Que es un claro ejemplo del aprovechamiento del espacio existente, sin intervenir carriles de circulación, para optimizar la movilidad del área de influencia del sistema, integrando el sistema de ciclorutas por debajo de la estructura del material rodante, como se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 66. Estructura Monorriel elevado de Sao Pablo - Brasil.**



Elevado sobre a Av. Luiz Ignácio de Anhaia Mello de frente para o Parque Ecológico Vila Prudente

**Fuente.** Metro de Sao Pablo Obra Civil Línea 15.

**Figura 67. Estructura Monorriel elevado de Sao Pablo - Brasil.**



Vista do track switch crossover



Vista do track switch turnout

**Fuente.** Metro de Sao Pablo Obra Civil Línea 15.

En conclusión, en términos de ocupación espacial, los sistemas de transporte elevados o suspendidos, son estructuras que permiten optimizar el espacio y la altura en función de la movilidad, esto quiere decir que mientras un número de



pasajeros se movilizan por los vagones elevados del sistema, otro porcentaje de pasajeros pueden utilizar el espacio ò área libre disponible al nivel del suelo para transitar por bici carriles ò a pie dependiendo del diseño del sistema.

**Figura 68. Ocupación del espacio Urbano Sistemas Elevados Vs Superficie.**



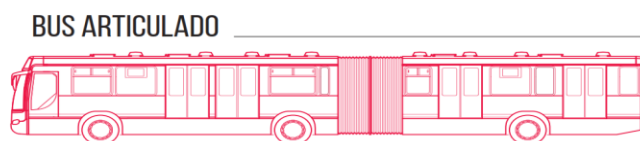
**Fuente.** AEROSUSPENDED NAVIGATION SYSTEM

Para algunos expertos en movilidad y urbanismo, las estructuras físicas de los sistemas elevados ò suspendidos, resultan ser de gran impacto visual, debido a que el concepto no es armónico con el paisaje urbano y obstaculiza la visibilidad en zonas muy estrechas y densas, ocasionando la pérdida de iluminación y proyección de grandes sombras sobre los carriles de las vías de los vehículos particulares.

Todo lo correspondiente a diseños y tema de estructural de estos sistemas de elevados de transporte público se pueden encontrar en el **Anexo A**.

### 8.1.2 CAPACIDAD DE PASAJEROS.

La capacidad de los modos de transporte, es otro punto para analizar en este marco comparativo, sobre todo cuando se necesita mayor capacidad física, para optimizar la movilidad de pasajeros en determinado modo de transporte, sin que se vea afectada la calidad de servicio por metro cuadrado, evitando el hacinamiento de pasajeros en las horas de mayor demanda.



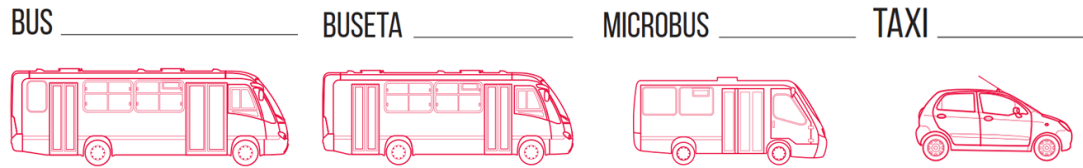
Un bus articulado de transmilenio, tiene una capacidad de ocupación de 160 pasajeros, 48 sentados y 112 de pie, distribuidos holgadamente por metro cuadrado, según las especificaciones técnicas del Bus Rapid Transport (BRT).

En Bogotá, estos buses pueden llegar a transportar más de 160 personas por bus, esto significa mayor hacinamiento dentro de los buses, a causa del retraso en las frecuencias de las rutas en las horas pico.

**Figura 69. Capacidad Bus Rapid Transport (BRT).**

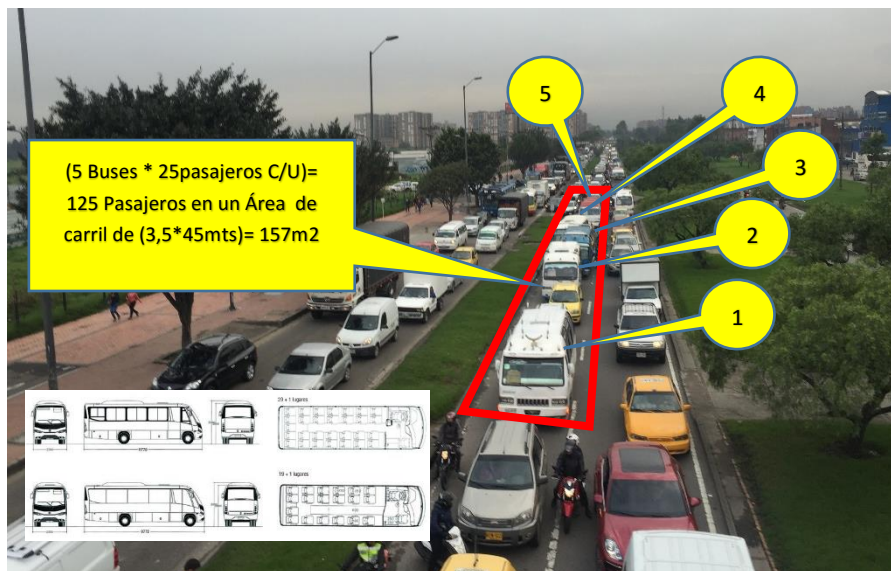


Fuente. @HaimanVZLA



El servicio de transporte convencional colectivo, cuenta con una capacidad promedio de: 25 a 35 personas sentadas y de pie, con buses demasiado antiguos y sillas en mal estado, estos buses superan su capacidad de cupo, poniendo en riesgo a los usuarios, su ocupación en la vía es significativo debido a la cantidad de buses con poca capacidad efectiva de transportar pasajeros y la saturación en todos los carriles como se puede evidenciar en la siguiente Figura No. 10.

**Figura 70. Ocupación espacial de los Buses en La Avenida Boyacá.**



**Fuente.** Propia.

Según la figura anterior se puede apreciar como la ocupación del área útil de la vía, se podría estar desaprovechando con el servicio de estos **5 buses** que transportan un promedio de **125 pasajeros** en condiciones óptimas de calidad, ocupando un área de vía útil de **157m<sup>2</sup>**, en comparación a **un BRT** con capacidad de **160 pasajeros** en condiciones óptimas de calidad en una área de vía útil de (3,5ancho vía x 18mts Largo= **63m<sup>2</sup>**). Es claro que los buses TPC ya no representan un servicio óptimo y eficiente, cuando se lleva a este nivel de detalle.

MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO



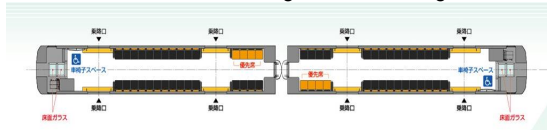
MONORRIEL ELEVADO



## Monorriel Suspendido.

### Chiba:

- Capacidad de **156 pasajeros** en óptimas condiciones de calidad (60 sentados y 96 de pie)
- 78 pasajeros por Vagón, incluyendo áreas exclusivas para discapacitados.
- 14,8mts largo x 2,6 ancho x 3 alto
- 14,8mts x 2 vagones= 29,6 longitud total.



### Wuppertal:

- Capacidad de **141 pasajeros** en óptimas condiciones de calidad (45 sentados y 96 de pie)
- Longitud total de 24mts.<sup>53</sup>



### Shonan:

- Capacidad **170 Pasajeros** en óptimas condiciones (90 sentados y 80 de pie).
- Longitud total de 36mts.



## Monorriel Elevado.

### Sao Pablo:

- Capacidad de **1.000 pasajeros** en óptimas condiciones de calidad (6 pasajeros por M2) en condiciones óptimas de calidad.
- 12mts x 7 Vagones= 86mts Longitud total<sup>54</sup>.



### Tokyo:

- Capacidad de **1.030 pasajeros** en óptimas condiciones
- 15,5 mts x 6 vagones = 93mts



Lead car

<sup>53</sup> Wuppertal Monorail. Technical Specifications. Wuppertal. Disponible en:

< <http://www.schwebbahn.de/2/history-technology/facts-and-figures/> >

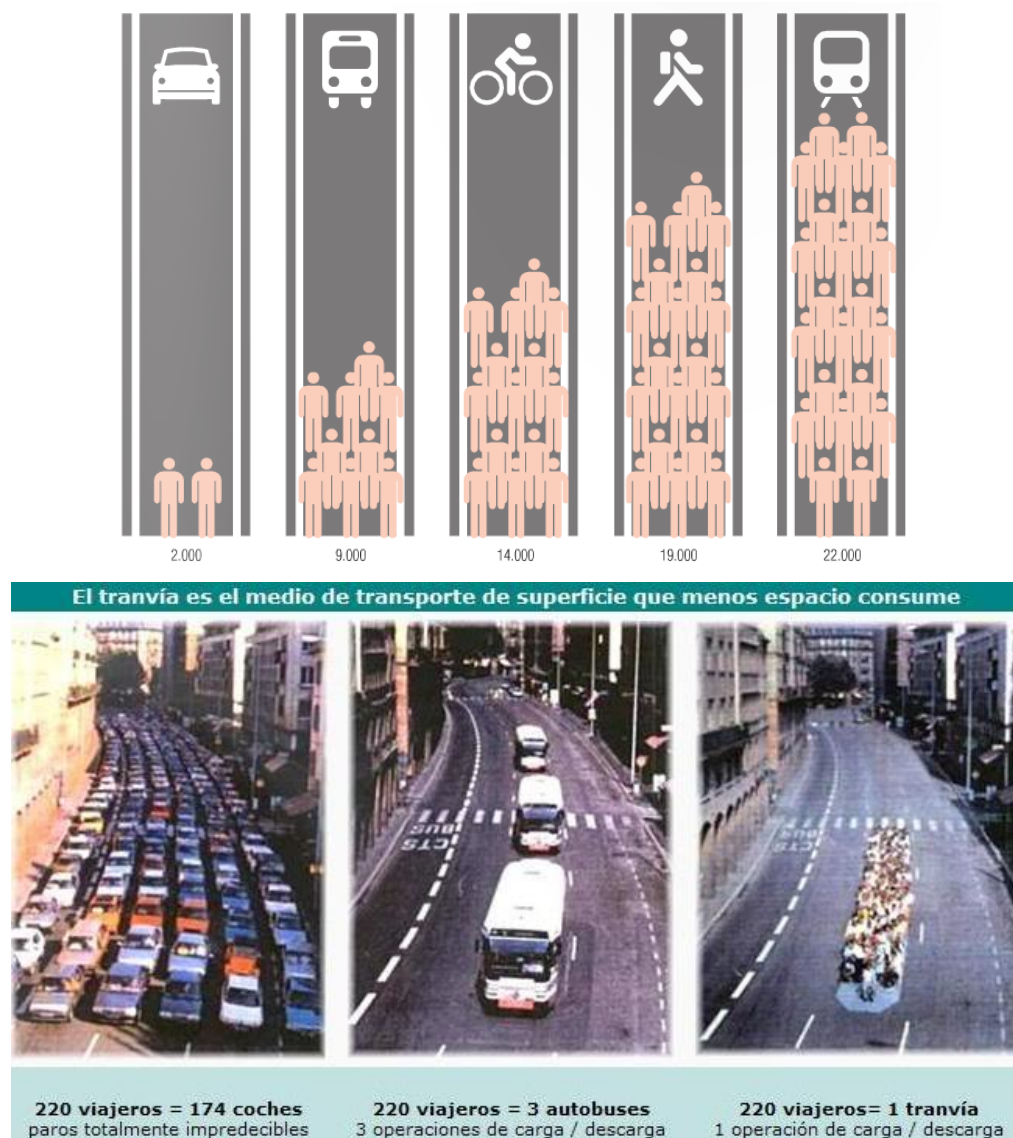
<sup>54</sup> ALWEG - Bombardier Innovia Monorail 300. "DIMENSIONS AND WEIGHT". Disponible en:

<<http://www.monorails.org/tMspages/TPInnovia300.html>>



Según lo anterior, los sistemas de monorraíl suspendido tienen una capacidad promedio de 155 pasajeros en óptimas condiciones de calidad y los sistemas de monorraíl elevado, una capacidad promedio de 1.000 pasajeros por monorraíl. Esto quiere decir que los sistemas elevados tienen una gran capacidad de pasajeros, cabe aclarar que los buses BRT tienen una capacidad similar a los sistemas suspendidos, con la diferencia que la capacidad se compensa con la velocidad y frecuencias que no poseen los sistemas BRT.

**Figura 71. Optimización de espacio vial- Número de personas que pueden circular cada hora por ancho de carril de 3,5m.**

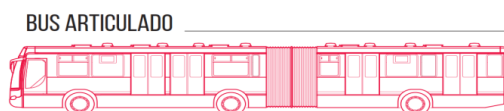


**Fuente.** Observatorio de la sostenibilidad. España 2011.

### 8.1.3 VELOCIDAD.

La velocidad es una condición determinante para cualquier sistema o modo de transporte, y por lo tanto define su efectividad y nivel de servicio, esto quiere decir que la velocidad de operación de cualquier modo de transporte incide directamente en las frecuencias de paradas y el tiempo de espera de los usuarios.

Entre mayor sea la velocidad de operación permitida, menor serán los tiempos de desplazamiento, reduciendo considerablemente el efecto acordeón entre los vehículos de servicio público.



Según el “PROTOCOLO PARA LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS SOBRE LAS CALZADAS EXCLUSIVAS DEL SISTEMA TRANSMILENIO” la velocidad máxima de operación dentro de las calzadas es de **60km/h**.

Pero actualmente los buses articulados y biarticulados operan con una velocidad promedio de **26Km/h**<sup>55</sup>.



**TRONCAL:** Son aquellos que realizan su recorrido por los carriles exclusivos de las troncales de TransMilenio

26  
Km/h VELOCIDAD PROMEDIO



(1.713 buses- articulados, biarticulados y duales)  
2'230.000 viajes al día



La velocidad promedio de operación del servicio TPC, es de 18Km/h<sup>3</sup>, (en la avenida Boyacá la velocidad está entre los 8km/h y los 10Km/h, hora pico).



**TPC** Transporte público tradicional que se encuentra en proceso de transformación hacia el servicio zonal del SITP

18  
Km/H VELOCIDAD PROMEDIO



<sup>55</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.



MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO



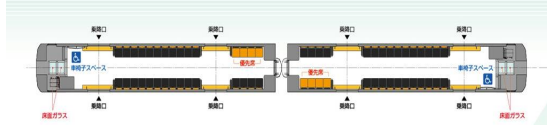
MONORRIEL ELEVADO



### Monorriel Suspendido.

#### Chiba:

- Velocidad de operación promedio de 30Km/h y máximo permitido 65km/h



#### Wuppertal:

- Velocidad media crucero de 27,5km/h y velocidad máxima permitida de 60Km/h



#### Shonan:

- Velocidad de operación promedio de 28,9km/h y velocidad máxima permitida de 75Km/h



### Monorriel Elevado.

#### Sao Paulo:

- Velocidad de operación promedio 40Km/h y velocidad máxima permitida de 80Km/h.



#### Tokyo:

- Velocidad de operación promedio 40Km/h y velocidad máxima permitida de 80Km/h.



Es evidente que el transporte elevado posee velocidades promedio superiores a los sistemas de transporte público a nivel, y esto se debe en gran parte a las paradas generadas por intersecciones, semáforos, accidentes, a los que se encuentran condicionados este tipo de transporte público a nivel del suelo, caso contrario ocurre con los sistemas elevados que mantienen sus velocidades de operación constantes, debido a las pocas paradas que realizan durante todo su recorrido.

### 8.1.4 COSTO DE VIAJE.

Dentro de los lineamientos de la movilidad sostenible el costo del pasaje o ticket, representa que tan asequible resulta “X” modo de transporte público para una población determinada, ubicada dentro del área de influencia del mismo, con la condición de brindar accesibilidad, comodidad y calidad de vida, generando desarrollo económico con la prestación del servicio.

BUS ARTICULADO



BUS



BUSETA



MICROBUS



#### Buses Transmilenio (BRT).

Tarifa general durante todo el día.

- Servicio Troncal: \$2.000
- Servicio Zonal: \$1.700

Tarifa Preferencial (Adultos Mayores)

- Servicio Troncal: \$1.800
- Servicio Zonal: \$1.550

Tarifa Preferencial (Personas Discapacidad)\*

- Servicio Troncal: \$2.000
- Servicio Zonal: \$1.700

\*Es un beneficio dirigido a las personas registradas en la base de datos del SISBÉN Distrito Capital (entre 0 a 40 puntos) y mayores de 16 años, el cual permite mayor acceso de la población al SITP con descuentos en el costo del pasaje, para servicios troncales el valor del pasaje es de \$1.000; para servicios zonales es de \$700; el valor de los transbordos es \$300.



#### Buses Colectivos (TPC).

Tarifa general durante todo el día:

- Servicio Colectivo: \$1.550

Tarifa Nocturna, Dominical y Festiva:

- Servicio Colectivo: \$1.600

**No existen tarifas Preferenciales.**



MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO



MONORRIEL ELEVADO



### Monorriel Suspendido.

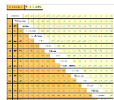
#### Chiba:

Tarifa Adultos durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 210 (Yenes)**  
Equivalente a **\$6.170 (pesos Colombianos)**

Tarifa Preferencial Niños durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 110 (Yenes)**  
Equivalente a **\$3.232 (pesos Colombianos)**



[http://www.chiba-monorail.co.jp/english/1\\_take/ryokin.html](http://www.chiba-monorail.co.jp/english/1_take/ryokin.html)

#### Wuppertal:

Tarifa Adultos durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **€ 2.50 (Euros)**  
Equivalente a **\$8.264 (pesos Colombianos)**

Tarifa Preferencial Niños durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **€ 1.50 (Euros)**  
Equivalente a **\$4.959 (pesos Colombianos)**

#### Shonan:

Tarifa Adultos durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 600 (Yenes)**  
Equivalente a **\$ 17.629 (pesos Colombianos)**

Tarifa Preferencial Niños durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 300 (Yenes)**  
Equivalente a **\$ 8.814 (pesos Colombianos)**

### Monorriel Elevado.

#### Sao Pablo:

Tarifa Adultos durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **R 3,8 (Reales)**  
Equivalente a **\$ 3,440. (pesos Colombianos)**

(Esta tarifa tiene la posibilidad de hacer tres cambios intermodales durante un tiempo límite de 3 horas con el mismo ticket)  
<http://www.metro.sp.gov.br/sua-viagem/bilhetes-cartoes/bilhete-unico.aspx#infoAdicional>

Tarifa Preferencial Estudiantes y profesores todo el día.

- Servicio Monorriel: **R 1,9 (Reales)**  
Equivalente a **\$ 1,720.43 (pesos Colombianos)**

#### Tokyo:

Tarifa Adultos durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 500 (Yenes)**  
Equivalente a **\$ 14.691 (pesos Colombianos)**

Tarifa Preferencial Niños durante todo el día.

- Servicio Monorriel: **¥ 250 (Yenes)**  
Equivalente a **\$ 7.345 (pesos Colombianos)**

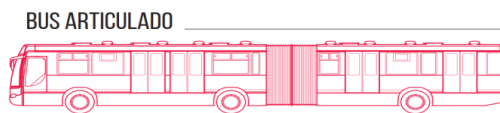
Al analizar las tarifas de todos los modos anteriormente comparados, se puede concluir que los sistemas suspendidos de transporte público son los más costosos en términos de tarifas, esto debido a las condiciones macroeconómicas de cada país, ya que repercuten en el costo de vida de las personas.

En el caso del monorriel de Tokio su valor es el más alto en términos de tarifas, debido a que es una de las ciudades más costosas a nivel mundial, en cuanto a Brasil las tarifas de su sistema masivo son similares a las del sistema de Transmilenio.

### **8.1.5 SEGURIDAD.**

Uno de los problemas que afectan la calidad del servicio del transporte público es la inseguridad dentro y fuera de la infraestructura disponible, siendo una de las causas que afectan la confianza de los usuarios en el momento de elegir qué modo de transporte es el más adecuado para llegar a su lugar de destino.

Muchas veces los usuarios prefieren elegir un modo de transporte que no es el más apropiado para llegar a su lugar de destino, pero resulta siendo el más seguro sin importar el costoso o el tiempo que se requiera, con tal de no poner riesgo la integridad física y moral, al arriesgarse a tomar un modo de transporte publico inseguro.

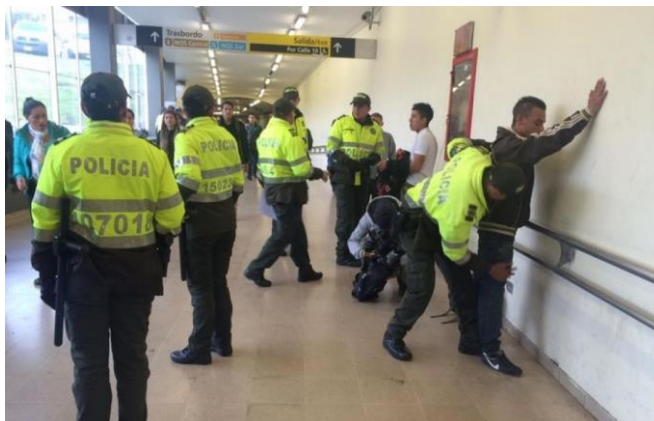


Durante los últimos dos años la inseguridad dentro de los buses y estaciones del sistema Transmilenio se ha ido incrementado significativamente hasta llegar al punto en el que las autoridades han sido víctimas de los abusos y maltratos por parte de los vándalos y delincuentes que se filtran diariamente en el sistema, en promedio 200.000 personas se cuelan al día en estaciones y portales de Transmilenio, en lo recorrido del 2016 las autoridades han capturado a 200 personas, 63 más que durante el mismo periodo del 2015, la mayoría son capturados por hurtos menores, al igual que la delincuencia el comercio informal ha generado desorden en las principales estaciones y portales de la ciudad, más de 17.000 productos han sido decomisados durante los últimos años, al igual que la incautación de armas bancas y productos de defensa personal por parte de los usuarios que no se sienten seguros por parte de la policía<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Serrano Guzmán. Alejandra. EL TIEMPO. Policías son atacados con navajas al intentar bloquear a colados. Bogotá. (23 De Febrero 2016) citado 10 Marzo de 2016.

**Figura 72. Inseguridad en Transmilenio.**



Fuente. Cable Noticias. Más de mil personas han sido capturadas en Transmilenio Agosto 2015.

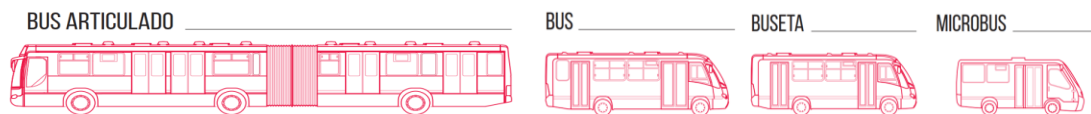
Durante los primeros meses del 2016, han sido reportadas 34 lesiones a policías, de los cuales 8 fueron agredidos con arma blanca y objetos en general, tres veces más que en lo ocurrido en el año inmediatamente anterior.

Estos hechos son más frecuentes en las horas pico, cuando se colapsa el sistema a causa de los retrasos de los buses y la saturación de pasajeros en las estaciones, ocasionando tumultos, riñas, y problemas entre los mismos usuarios del sistema, el caso más frecuente son los controles a los colados, quienes son los más agresivos y violentos, y sin mencionar las protestas por parte de usuarios al interior del sistema.

Otro de los grandes problemas del sistema, son las bandas delincuenciales organizadas, que actúan bajo la modalidad de cosquilleo, en las horas de mayor aglomeración de pasajeros, en estaciones y buses del sistema, sin contar los delincuentes que operan en las zonas de paraderos de alimentadores y buses zonales.

Como respuesta a este problema en materia de seguridad la dirección de Policía mejoro el pie de fuerza implementando 700 uniformados para un total de 1200, hombres y mujeres, más agentes encubiertos para brindar más seguridad a los usuarios que se desplazan por este sistema masivo de transporte público, estudios resientes por parte de la CCB (Cámara de Comercio de Bogotá), el 89% de los pasajeros considero que Transmilenio es un sistema inseguro.

En el tema de seguridad hay mucho por mejorar como: la organización de los más de 400 vendedores informales y los más de 1500 artistas urbanos que suben diariamente al sistema.



En general tanto el sistema de servicio público colectivo como el sistema de transmilenio se han visto afectados por el flagelo de la inseguridad, en paraderos y estaciones de servicio.

Como consecuencia a esta problemática la percepción por parte de los usuarios acerca del servicio de transporte publico disminuyo considerablemente según las encuestas realizadas por CCB como se muestra a continuación

Figura 73. Percepción de inseguridad en el sistema de transporte público.

## SEGURIDAD

En el transcurso del último año la seguridad del servicio:

Los usuarios consideran que el principal factor de inseguridad en TransMilenio es el exceso de pasajeros, y en SITP y TPC es la escasa vigilancia



### USUARIOS QUE NO SE SIENTEN SEGUROS EN NINGUN LUGAR DURANTE SU RECORRIDO



BASE: 1.521 Troncal / 584 Zonal / 2.510 TPC

Cámara de Comercio de Bogotá

**Fuente.** Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.33.

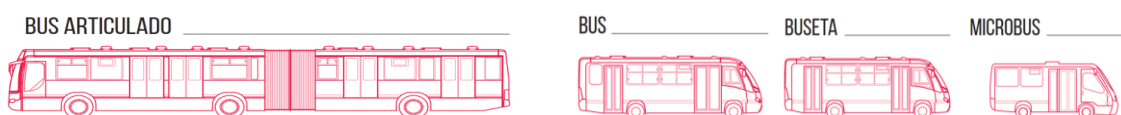


Gracias a su infraestructura elevada, este servicio no es propenso hacer quebrantado a la fuerza por colados, ya que las estaciones ò terminales de servicio, son especialmente diseñadas para mitigar los efectos de la inseguridad y por el contrario brindar confort a los usuarios que utilizan este servicio diariamente.



### 8.1.6 CONTAMINACIÓN.

En Bogotá la contaminación atmosférica se ha convertido uno de los problemas ambientales más importantes de la ciudad, con un continuo deterioro de la calidad del aire a causa de diferentes actividades de logísticas y de transporte en general. El contaminante más significativo, es el material particulado (PM10 y PM 2,5), donde las actividades industriales aportan aproximadamente el 60% de las emisiones, y las fuentes móviles el 40%. Sin embargo, si se tiene en cuenta el impacto de la exposición de la población a la contaminación, es posible afirmar que las fuentes móviles tienen un impacto más significativo, debido a la mayor cercanía de la población (peatones, ciclistas, conductores), a las fuentes de emisión de contaminantes.<sup>57</sup>



#### Buses Transmilenio (BRT).

Según un estudio realizado en el año 2015 el 18% del pm (material particulado) de Bogotá, corresponde a los buses de la fase 1 de transmilenio, los cuales aportan un 70% en las zonas donde operan los buses del SITP y Buses articulados<sup>58</sup>



Fuente. Blog Aire nuevo Bogotá.  
<https://airenuevobogota.wordpress.com/page/9/>

#### Buses Colectivos (TPC).

En lo recorrido del 2016 van más de 400 vehículos inmovilizados a causa del incumplimiento de la normativa ambiental vigente, generando daños en la salud de los ciudadanos, quienes tienen el derecho de respirar aire limpio sin comprometer su salud.

Los principales contaminantes que afectan el medio ambiente a causa de la combustión de estos vehículos son:

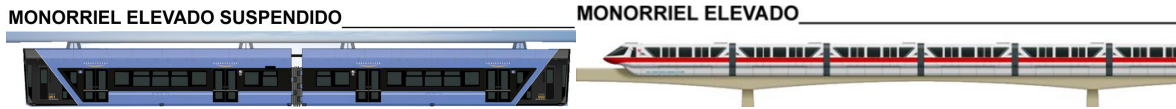
- El Monóxido de Carbono (CO)
- El óxido de nitrógeno (Nox).
- Hidrocarburos (HC)
- Material articulado (PM10, PM2,5)
- Óxidos de Azufre (Sox)



Fuente. Radio Santa fe. <http://www.radiosantafe.com/2016/02/11/en-2016-van-mas-de-400-vehiculos-inmovilizados-por-contaminacion-ambiental/>

<sup>57</sup> Néstor Y. Rojas. Aire y problemas ambientales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. En: oab.ambientebogota.gov.co

<sup>58</sup> Blu Radio. Buses de TransMilenio emiten 70 % de contaminación donde operan, según estudio. Bogotá. 23 Abril de 2015. Disponible: < <http://www.bluradio.com/97161/buses-de-transmilenio-emiten-70-de-contaminacion-donde-operan-segun-estudio>>



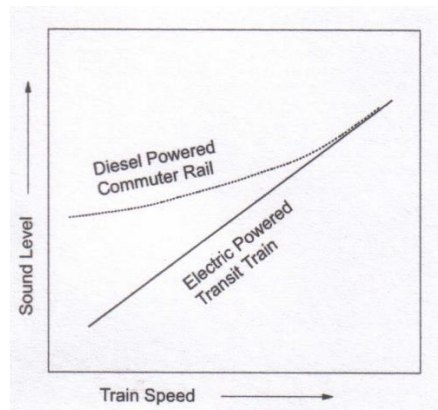
Estos sistemas de transporte público elevados resultan ser sustentables desde cualquier punto de vista ambiental, en primer lugar son vehículos eléctricos que a diferencia de los vehículos a combustión (Gasolina ò Diésel), no son de gran impacto en el medio ambiente, por el contrario están diseñados para ser modos de transporte sustentables.

Estudios recientes revelan que un bus (BRT) a combustión diésel articulado de 18mts, consume aproximadamente 80 litros cada 100Km, emitiendo 104 gramos de CO<sub>2</sub> por persona y Km<sup>59</sup>. Datos considerables para analizar en la futura implementación de estos vehículos.

Cabe resaltar que la contaminación no solo comprende las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también los impactos que se generan a nivel de ruido y visión.

El ruido es otro indicador importante para analizar en la implementación de cualquier sistema de transporte, al igual que la contaminación del aire por efectos de combustión, el ruido puede causar problemas de salud auditiva en las personas, según las Intensidad, duración y frecuencia.

**Figura 74. Nivel de ruido Vs Velocidad vehículo.**



**Fuente.** Jhon W. Dickey. Metropolitan Transportation Planning, 2nd Edition

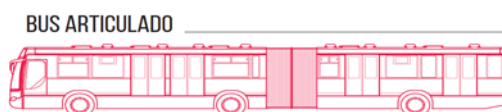
Según la figura No. 14, los niveles de ruido de los vehículos a diésel son más altos a bajas velocidades, que los vehículos eléctricos.

<sup>59</sup> Ecomovilidad. “Comparativa: ¿Tranvía o autobús para la Diagonal?”. 8 de Abril de 2015. Disponible en: <<https://ecomovilidad.net/barcelona/comparativa-tranvia-o-autobus-para-la-diagonal/>>

### 8.1.7 MANTENIMIENTO.

Para el funcionamiento óptimo de estos sistemas de servicio público, se deben tener claros dos conceptos que son aplicables tanto a la infraestructura como a los vehículos de que prestan el servicio, uno de ellos es el mantenimiento preventivo y el otro el mantenimiento correctivo. Ambos conceptos están enfocados a la efectividad y calidad de la operación de los sistemas, para la mitigación de posibles daños en donde se vea afectada la operación del servicio.

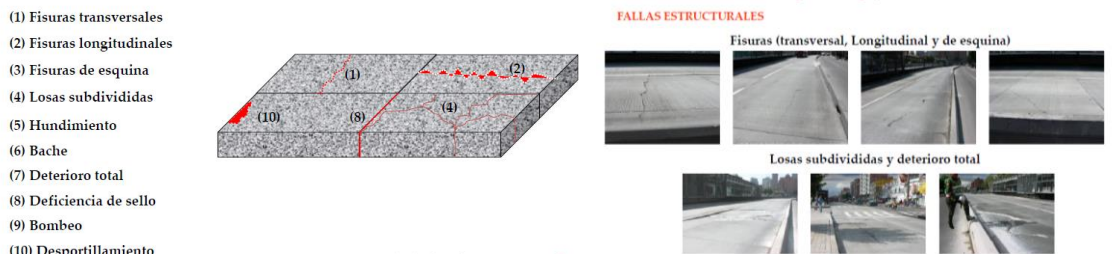
- **Mantenimiento correctivo**, será aquel que se centra exclusivamente en la corrección de los defectos que se aprecian en el funcionamiento e instalaciones para a partir de ello repararlos y devolverle la funcionalidad correcta.<sup>60</sup>
- **Mantenimiento preventivo**, como su denominación ya lo anticipa, es una revisión que garantiza el funcionamiento del equipo para evitar la sucesión de una falla.



En el caso de transmilenio y su sistema integrado de transporte, el concepto de mantenimiento preventivo no es parte fundamental en el servicio, debido a los problemas que se han generado a nivel de infraestructura y vehículos, siendo el 100% mantenimientos correctivos, los cuales tienen gran implicación en los costos de ejecución y reparación.

A nivel de infraestructura, transmilenio ha sido fuertemente criticado, por el deterioro de las calzadas, específicamente las fallas de las losas de las avenidas Caracas y Autopista norte, representando altos costos de inversión para su mantenimiento.

**Figura 75. Fallas losas de Transmilenio.**



**Fuente.** (IDU). Infraestructura: mejoramiento y nuevas construcciones para optimizar la operación del sistema integrado.

<sup>60</sup> Definición ABC. "Mantenimiento Correctivo" Disponible en :  
<<http://www.definicionabc.com/tecnologia/mantenimiento-correctivo.php>>

Todo inicio tres Años después con la implementación del sistema masivo de transmilenio en la Fase No. 1 (Avenida Caracas y Autopista Norte), en el año 2003, donde se encontraron las primeras fallas en la estructura de las losas de concreto, las cuales habían sido diseñadas para una vida útil de 15 a 20 años por la firma Steer, Davis y Gleave Ltda, pero dichos diseños fueron modificados, por parte del ente constructor debido a retrasos en los hitos de entrega y la planificación de la obra civil, cambiando la base asfáltica del diseño original por un relleno fluido de menor resistencia y especificación.

Este cambio en las especificaciones de los diseños de las losas de las calzadas exclusivas de la Fase 1, represento un impacto considerable al presupuesto del distrito a lo largo del tiempo como costo exponencial no previsto de miles de millones de pesos, como se muestran en la siguiente figura.

Figura 76. Costos de los mantenimientos correctivos en el Tiempo.



**Fuente.** (IDU). Infraestructura: mejoramiento y nuevas construcciones para optimizar la operación del sistema integrado.

Complementado la información anterior, desde el año 2012 al 2015 el distrito invirtió alrededor de 14,500 millones de pesos en reparaciones y mantenimiento a la infraestructura de calzadas exclusivas del sistema<sup>61</sup>.

<sup>61</sup> El tiempo. Reparar losas de Transmilenio por la Caracas y Auto norte cuesta un billón de pesos. Bogotá. 17 Septiembre de 2015. Disponible en: <<http://www.elspectador.com/noticias/bogota/reparar-losas-de-transmilenio-caracas-y-autonorte-cuest-articulo-586943>>

MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO



MONORRIEL ELEVADO



A diferencia de Transmilenio, la infraestructura de los sistemas de transporte elevado es similar a las estructuras de los puentes metálicos y de concreto, el mantenimiento está principalmente enfocado en las vigas guía, material rodante (vehículos) y estaciones.



### Mantenimiento Monorriel Suspendido de Wuppertal.

Los procedimientos para realizar las actividades de mantenimiento son más complejos que las de los modos de servicio terrestres, ya que se manejan alturas mayores de 10 metros, lo cual implica un nivel de seguridad industrial más estricto y cuadrillas de operación especializadas en el trabajo en alturas.

Los principales trabajos de mantenimiento que se le realiza a este tipo de estructuras metálicas, es la revisión y seguimiento de las secciones y perfiles que componen todo el armazón estructural, previniendo fallas por fatiga y torsión de los elementos estructurales por el constante movimiento de las cargas dinámicas del monorriel y sus vagones.

**Figura 77. Mantenimiento Estructura Monorriel Wuppertal-Alemania.**



**Fuente.** Monorail schwebbahn



## MONORRIEL ELEVADO



### Mantenimiento Monorriel Tokio.

El mantenimiento de los monorrieles de tipo elevado sobre viga, son similares a los de tipo suspendido, ambos se realizan en alturas mayores de 10mts, a diferencia que en el sistema elevado, existen vehículos diseñados solamente para realizar las actividades de mantenimiento a lo largo de toda la línea del monorriel, minimizando los riesgo de accidentalidad a los operarios que realizan los trabajos de mantenimiento.

**Figura 78. Vehículos de mantenimiento Monorriel de Tokio.**



Battery car

Diesel engine car

**Fuente.** Tokyo Monorail Company Profile.



### 8.1.8 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.

En Bogotá el debate para la implementación del próximo sistema de transporte masivo de pasajeros se ha convertido en un tema de discusión por innumerables factores que han dejado los proyectos en stand by, debido a que no se tiene con certeza un modelo fiable a implementar que cubra las necesidades de movilidad tanto operativas como de construcción. La incertidumbre que se ha generado durante los últimos años, acerca de los grandes proyectos de infraestructura en Bogotá, ha dejado un sabor amargo a los bogotanos, debido a los tiempos de ejecución, demoras en las entregas y lo más importante, altos sobrecostos a causa de la mala planificación por parte de la contratación y la gestión licitatoria.

El proyecto del metro subterráneo en Bogotá es uno de los temas inconclusos por resolver, este lleva más de 70 años en fase de planeación con numerosos estudios técnicos que le han costado a la capital más de 130.000 millones de pesos<sup>62</sup>, e innumerables decisiones erradas para la movilidad de Bogotá.

Transmilenio la columna vertebral del transporte de Bogotá, es otro tema para analizar, su modelo privado y su estructura financiera deja mucho que pensar para la próxima implementación de un sistema masivo de pasajeros, para nadie es desconocido que transmilenio le ha ocasionado grandes sobrecostos a Bogotá, solo en reparaciones y mantenimientos de la infraestructura de las losas de concreto, con un costo que supera los 50.000 millones de pesos al año 2015, sin contar los costos operativos y de remodelación de vehículos, por culminación de su vida útil, proyectando costos a largo plazo con una tendencia exponencial.

Para Aurelio Suárez Montoya, Analista económico e Ingeniero industrial de la universidad de Los Andes, el tema de Transmilenio Vs el Metro, representa grandes implicaciones en el presupuesto del Gobierno distrital, en el escenario de no implementarse el metro en Bogotá. En Febrero del 2016, durante un debate del Polo democrático, sobre el tema del metro de Bogotá, el señor Aurelio Suarez, hizo una síntesis de la estructura financiera de ambos sistemas de transporte en términos de microeconomía de alcance, el cual sustento la viabilidad económica durante los últimos 15 años del metro de Medellín Vs el Transmilenio de Bogotá, acotando lo siguiente:

Dentro del análisis del señor Suarez, solo se exponen los costos de operación de los vehículos más no la infraestructura. Esto quiere decir que en términos de infraestructura móvil (vehículos), un bus articulado con capacidad de 160 pasajeros tiene un valor comercial de alrededor de los 400.000 dólares y un biarticulado con

---

<sup>62</sup> El espectador. Bogotá perderá más de 130.000 millones de pesos si se desechan estudios del Metro: Distrito. Bogotá. 11 de Noviembre 2015. Disponible en: <<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/bogota-perdida-mas-de-130000-millones-de-pesos-si-se-de-articulo-598711>>

capacidad de 260 pasajeros un valor comercial de 500.000 dólares, a comparación de un metro que tiene capacidad de 1.500 pasajeros por un valor comercial de alrededor de los 2'000.000 de dólares, que al hacer la relación de costos Vs capacidad el metro resulta siendo el más opcionado en términos de costos.

Suarez, también expone el incremento que han tenido las tarifas técnicas de cada uno de los sistemas durante los últimos 15 años, resaltando lo siguiente:

En el primer año de transmilenio (privado) el porcentaje de la tarifa técnica que se reconoció a los operadores privados tuvo un costo de 780 pesos, quince años después la tarifa se incrementó a los 1.946 pesos, cifra que superó el 40% por encima de la inflación.

En el primer año de metro de Medellín (publico), la tarifa técnica costo 784 pesos, y a los 15 años se incrementó a los 1.442 pesos, cifra que tuvo un incremento de la mitad de la inflación. Cabe aclarar que dentro de esta tarifa técnica se tiene contemplado el mantenimiento de la infraestructura propia del sistema.

También resalto tiempo de vida útil de los vehículos de cada uno de los sistemas, en el caso del metro, este sistema posee una vida útil de 30 años, con posibilidades de repotenciación para una vida útil total de 50 años, mientras que los buses BRT de transmilenio solo tienen una vida útil de 15 años como máximo. Es decir en el momento de reemplazar un metro (vehículo de 6 a 7 vagones) a los 50 años, ya se tuvo que haber reemplazado 3 veces el mismo bus articulado.

**Figura 79. Debate Metro de Bogotá - Aurelio Suárez Montoya.**



**Fuente:** Video YouTube. “Transmilenio vs Metro [Costos]”, Francisco A. Cristancho Rojas.

Según los argumentos expuestos anteriormente se expresaran los costos de ejecución en \$US Millones de Dólares por Kilómetro de cada uno de los sistemas de transporte del presente estudio de prefactibilidad.

| SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO                                                                                                 | US POR KILOMETRO                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BUS ARTICULADO</b><br>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>TRANSMILENIO: \$40,955,092<sup>63</sup> Dólares/km</li> </ul>                                                                                                       |
| <b>BUS</b> <b>BUSETA</b> <b>MICROBUS</b><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>TRANSPORTE COLECTIVO: \$1,753,842<sup>64</sup> Dólares/km</li> </ul>                                                                                                |
| <b>MONORRIEL ELEVADO SUSPENDIDO</b><br>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>CHIBA: \$158,713,324<sup>65</sup> Dólares/km</li> <li>SHONAN: \$75,971,155<sup>13</sup> Dólares/km</li> <li>WUPPERTAL: \$700,265<sup>66</sup> Dólares/km</li> </ul> |
| <b>MONORRIEL ELEVADO</b><br>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>TOKIO: \$55,979,639<sup>13</sup> Dólares/km</li> <li>SAO PAULO: \$70,195,118<sup>67</sup> Dólares/km</li> </ul>                                                     |

**METRO DE BOGOTA 563.000 MILLONES KM = \$181.646.888 DE DOLARES KM**

Estas cifras fueron consultadas rigurosamente de varias fuentes, para validar su veracidad, ya que la información bibliográfica en su mayoría se encuentra en otros idiomas, cada una de estas cifras US por kilómetro están soportados con las referencias de pie de página que se encuentran a continuación.

<sup>63</sup> EL TIEMPO. Petro dejará abierta licitación para TransMilenio por la Boyacá, (11 Septiembre de 2015). [Online]. [citado 10 Julio 2016] Disponible: < <http://www.eltiempo.com/bogota/transmilenio-por-la-boyaca/16368957>>

<sup>64</sup> EL TIEMPO. Construir vías cuesta un ojo de la cara, (02 Marzo de 2013). [Online]. [citado 10 Julio 2016] Disponible: < <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12631375>>

<sup>65</sup> Publictransit.us. Monorails In Japon: An Overview, Japon, (Junio 22 de 2015). P.26 a 52.

<sup>66</sup> Blog Europe 1900. Wuppertal Schwebebahn. 2013. [Online] [citado 10 Julio16]. Disponible: <<http://europe1900.blogspot.com.co/2013/01/wuppertal-schwebebahn.html>>

<sup>67</sup>FOLHA DE S.PAULO. [Online]. Disponible: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/08/1508434-primeiro-monotrilho-do-pais-sera-inaugurado-hoje-em-sao-paulo.shtml>>

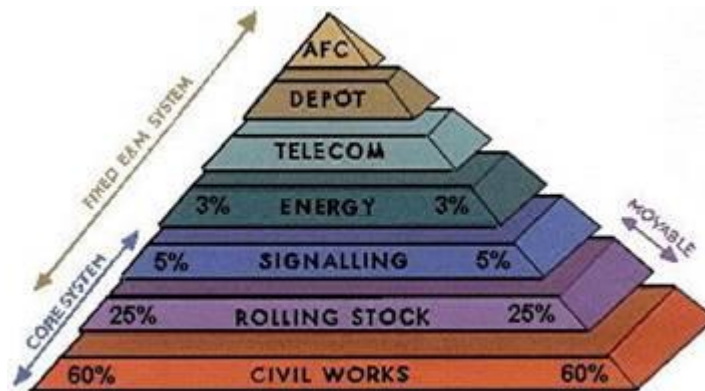
## CAPEX Y OPEX.

Dentro de un proceso de prefactibilidad técnica, la evaluación económica es un factor primordial en la toma de decisiones en cualquier tipo de proyecto, y en especial cuando se manejan cuantías considerables de inversión para la construcción y operación de proyectos relacionados con infraestructura de transporte, bien sea de carga ó de pasajeros.

Dentro de la evaluación económica que se tuvo en cuenta para determinar la viabilidad técnica de estos modos de transporte público de tipo elevado, se tomaron las partidas presupuestales más importantes por kilómetro construido y material rodante operado, teniendo como referente la distribución de los costos en términos de Capex y Opex.

Donde el Capex, son los costos de obras civiles y equipos utilizados para el desarrollo y construcción de la infraestructura necesaria para la implementación del sistema de monorriel, y el Opex, los costos de operación y de mantenimiento de la línea del sistema monorriel distribuidos de la siguiente forma:

**Figura 80. Distribución de costos de un sistema monorriel elevado.**



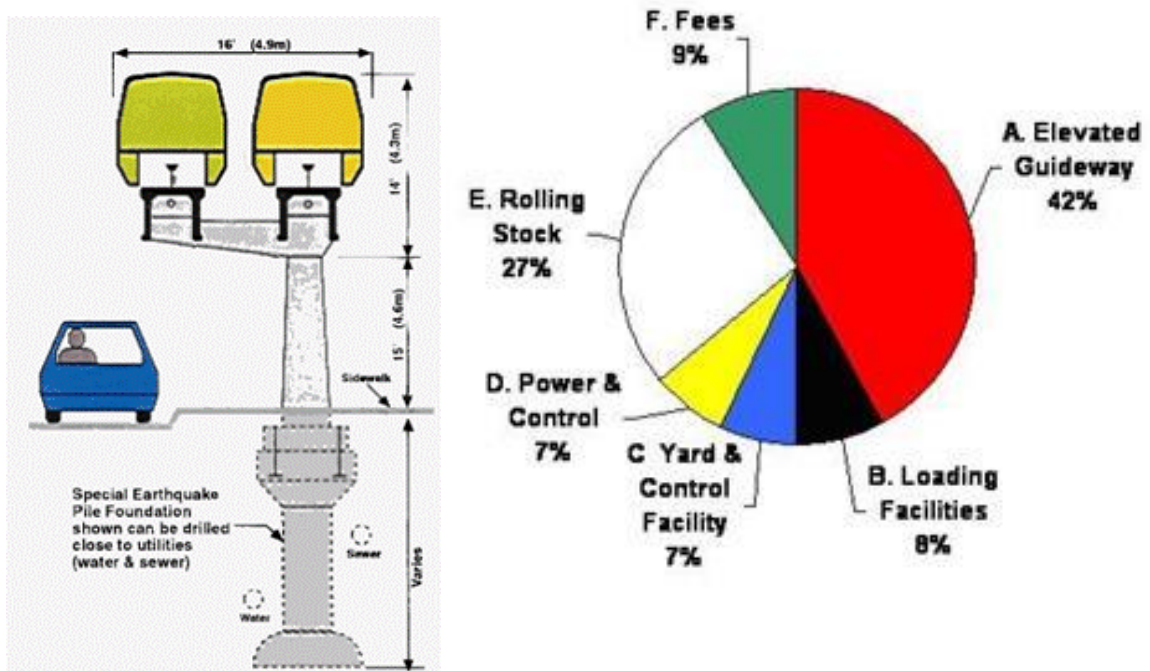
Fuente: Urbanaut- Relative Cost of Each Element.

A continuación se mostrara la distribución standard de los porcentajes de costos estimados para la construcción por kilómetro de línea de monorriel de tipo elevado bidireccional.

- Vigas guía elevadas, fundaciones y obra civil. Con un porcentaje del 41.8%
- Instalaciones de carga y descarga (estaciones). Con un porcentaje del 8.5%
- Mantenimiento de la línea y control operativo. Con un porcentaje del 7.2%

- Energía eléctrica, señalización y otros servicios. Con un porcentaje del 7.2%.
- Material rodante (vehículos). Con un porcentaje del 26.8%
- Imprevistos y comisiones. Con un porcentaje del 8.5%

Figura 81. Porcentaje de la distribución de costos de un sistema monorriel elevado.



Fuente: Urbanaut- Relative Cost of Each Element.

Según lo anterior el Capex por kilometro construido de línea de monorriel es aproximadamente del **57.5%**

$$CAPEX: 41.8\% + 8.5\% + 7.2\%$$

Y el Opex incluido por Kilometro construido de línea de monorriel es aproximadamente del **42.5%**

$$OPEX: 7.2\% + 26.8\% + 8.5\%$$

Cabe resaltar que dentro de la distribución de costos anteriormente mencionados, no se tuvieron en cuenta los honorarios de legales de estudios de viabilidad, financiación ò prestamos, costos de diseños de ingeniería y reubicación de servicios públicos.



## 8.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD TÉCNICA.

Para determinar la viabilidad del modo de transporte más apropiado para la avenida Boyacá, se utilizó el método AHP (Analytic Hierarchy Process), proceso de análisis jerárquico, la finalidad de este método es determinar la toma de decisiones correctas para la solución de un problema determinado a través de la jerarquización de criterios sobre diferentes alternativas. En este caso se tomaron los principales modos de transporte de Bogotá anteriormente mencionados en el desarrollo de este trabajo de grado, bajo diferentes criterios: infraestructura, capacidad de pasajeros, velocidad de operación, costos de viaje, seguridad, contaminación, mantenimiento y costos de construcción, para así determinar tanto la viabilidad técnica y el modo más apropiado para la Avenida Boyacá.

Para la jerarquización de todos escenarios expuestos anteriormente se tomó la escala de Thomas Saaty, con el fin de clasificar las diferentes alternativas dentro de las matrices de comparación por pares, donde las columnas “vector promedio” de cada uno de los criterios, arrojaron la incidencia y nivel de importancia frente a las demás alternativas.

**Figura 82. Escala fundamental de valoración usada en el método AHP.**

| Intensidad | Definición                                           | Explicación                                                                                     |
|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | Importancia igual                                    | Las dos actividades constituyen igualmente al objetivo                                          |
| 3          | Importancia moderada                                 | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra                       |
| 5          | Importancia esencial o fuerte                        | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra                       |
| 7          | Importancia muy fuerte                               | Una actividad es fuertemente favorecida y su dominancia es demostrada en la práctica            |
| 9          | Importancia extrema                                  | La evidencia en favor de una actividad sobre otra presenta el mayor orden posible de afirmación |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes | Cuando el compromiso es necesario                                                               |

**Fuente.** Método Análisis Jerárquico multicriterio. Saaty (1994).

- **Infraestructura:**

Para este criterio se tomaron todos los anchos de vía transversal necesarios para la implementación de cada uno de los sistemas de transporte público, ordenándolos de menor a mayor y de esta forma jerarquizar todas las alternativas, donde las que requieran un menor ancho transversal, predominaran sobre las de mayor ancho transversal como se muestra a continuación.

**Tabla 6. Matriz de Viabilidad Técnica “Infraestructura”.**

| Ancho requerido en Mts |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ALTERNATIVAS           | CANTIDAD |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CHIBA                  | 4        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SHONAN                 | 4        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| WUPPERTAL              | 4        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TOKIO                  | 5        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SAO PABLO              | 5        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BUS TPC                | 14       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TRANSMILENIO           | 20       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| INFRAESTRUCTURA (USO ESPACIAL) |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |
|--------------------------------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| CHIBA                          | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NORMALIZADA |            |            |            |            |            |
| 1                              | 1      | 1         | 9            | 7       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.18367347 | 0.19266055 | 0.26657264 |
| 1                              | 1      | 1         | 9            | 7       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.18367347 | 0.19266055 | 0.26657264 |
| 1                              | 1      | 1         | 9            | 7       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.18367347 | 0.19266055 | 0.26657264 |
| 1/9                            | 1/9    | 1/9       | 1            | 1/3     | 1/9   | 1/9       | 0.02834008         | 0.02834008 | 0.02834008 | 0.02040816 | 0.00917431 | 0.00987306 |
| 1/7                            | 1/7    | 1/7       | 3            | 1       | 1/7   | 1/7       | 0.03643725         | 0.03643725 | 0.03643725 | 0.06122449 | 0.02752294 | 0.01269394 |
| 1/3                            | 1/3    | 1/3       | 9            | 7       | 1     | 1         | 0.08502024         | 0.08502024 | 0.08502024 | 0.18367347 | 0.19266055 | 0.08885755 |
| 1/3                            | 1/3    | 1/3       | 9            | 7       | 1     | 1         | 0.08502024         | 0.08502024 | 0.08502024 | 0.18367347 | 0.19266055 | 0.08885755 |
| SUMA                           | 3.92   | 3.92      | 3.92         | 49.00   | 36.33 | 11.25     |                    |            |            |            |            |            |

**Fuente.** Propia.

Según lo anterior, aplicando el método AHP, con los respectivos arreglos numéricos de las dos matrices, se obtiene que la columna “vector promedio” del criterio Infraestructura, las alternativas Chiba, Shonan y Wuppertal, arrojaron porcentajes de 24% de incidencia predominando sobre los monorrieles elevados y sobre los de servicio público colectivo y Transmilenio.

- **Capacidad de Pasajeros:**

Igualmente para este criterio se tomaron las capacidades en número de pasajeros de cada una de las alternativas de transporte público por vehículo, jerarquizando todos los modos de transporte, donde los de mayor capacidad predominan sobre los de menor.

**Tabla 7. Matriz de Viabilidad Técnica “Capacidad de Pasajeros”.**

| Capacidad de Pasajeros UN |          |
|---------------------------|----------|
| ALTERNATIVAS              | CANTIDAD |
| TOKIO                     | 1,030    |
| SAO PABLO                 | 1,000    |
| SHONAN                    | 170      |
| TRANSMILENIO              | 160      |
| CHIBA                     | 156      |
| WUPPERTAL                 | 141      |
| BUS TPC                   | 25       |

| CAPACIDAD DE PASAJEROS |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |                 |
|------------------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
|                        | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NORMALIZADA |            |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |
| CHIBA                  | 1     | 1/3    | 1         | 1            | 7       | 1/5   | 1/5       | 0.0619469          | 0.0200267  | 0.04964539 | 0.05722071 | 0.14285714 | 0.07150965 | 0.07150965      |
| SHONAN                 | 3     | 1      | 5         | 1            | 9       | 1/7   | 1/7       | 0.18584071         | 0.06008011 | 0.24822695 | 0.05722071 | 0.18367347 | 0.05107832 | 0.05107832      |
| WUPPERTAL              | 1     | 1/5    | 1         | 1/3          | 7       | 1/5   | 1/5       | 0.0619469          | 0.01201602 | 0.04964539 | 0.01907357 | 0.14285714 | 0.07150965 | 0.07150965      |
| TRANSMILENIO           | 1     | 1      | 3         | 1            | 7       | 1/7   | 1/7       | 0.0619469          | 0.06008011 | 0.14893617 | 0.05722071 | 0.14285714 | 0.05107832 | 0.05107832      |
| BUS TPC                | 1/7   | 1/9    | 1/7       | 1/7          | 1       | 1/9   | 1/9       | 0.00884956         | 0.00667557 | 0.0070922  | 0.00817439 | 0.02040816 | 0.03972758 | 0.03972758      |
| TOKIO                  | 5     | 7      | 5         | 7            | 9       | 1     | 1         | 0.30973451         | 0.42056075 | 0.24822695 | 0.40054496 | 0.18367347 | 0.35754824 | 0.35754824      |
| SAO PAULO              | 5     | 7      | 5         | 7            | 9       | 1     | 1         | 0.30973451         | 0.42056075 | 0.24822695 | 0.40054496 | 0.18367347 | 0.35754824 | 0.35754824      |
| SUMA                   | 16.14 | 16.64  | 20.14     | 17.48        | 49.00   | 2.80  | 2.80      |                    |            |            |            |            |            |                 |

Fuente. Propia.

La matriz correspondiente a “Capacidad de pasajeros”, arrojo las alternativas monorriel de Sao Paulo y Tokio, presentaron una incidencia del 33% sobre los monorrieles suspendidos y modos de transporte a nivel como transmilenio y buses de servicio colectivo.

- Velocidad:**

Para este criterios e tomaron las velocidades comerciales promedio de cada uno de los modos de transporte de estudio ordenándolas de mayor a menor, para poderlas jerarquizar dentro de la matriz.

**TABLA 8. Matriz de Viabilidad Técnica “Velocidad promedio”.**

| Velocidad promedio en Km/h |          |
|----------------------------|----------|
| ALTERNATIVAS               | CANTIDAD |
| TOKIO                      | 40       |
| SAO PAULO                  | 40       |
| CHIBA                      | 30       |
| SHONAN                     | 28.9     |
| WUPPERTAL                  | 27.5     |
| TRANSMILENIO               | 26       |
| BUS TPC                    | 18       |

| VELOCIDAD PROMEDIO. |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |                 |            |
|---------------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|
|                     | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NORMALIZADA |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |            |
| CHIBA               | 1     | 1      | 1         | 1            | 3       | 1/3   | 1/3       | 0.09803922         | 0.08108108 | 0.08108108 | 0.05454545 | 0.15151515 | 0.11158342      | 0.10243902 |
| SHONAN              | 1     | 1      | 1         | 1            | 3       | 1/5   | 1/3       | 0.09803922         | 0.08108108 | 0.08108108 | 0.05454545 | 0.09090909 | 0.06695005      | 0.10243902 |
| WUPPERTAL           | 1     | 1      | 1         | 1            | 3       | 1/5   | 1/3       | 0.09803922         | 0.08108108 | 0.08108108 | 0.05454545 | 0.09090909 | 0.06695005      | 0.10243902 |
| TRANSMILENIO        | 1     | 1      | 1         | 1            | 3       | 1/7   | 1/7       | 0.09803922         | 0.08108108 | 0.08108108 | 0.05454545 | 0.09090909 | 0.04782147      | 0.04390244 |
| BUS TPC             | 1/5   | 1/3    | 1/3       | 1/3          | 1       | 1/9   | 1/9       | 0.01960784         | 0.02702703 | 0.02702703 | 0.01818182 | 0.03030303 | 0.03719447      | 0.03414634 |
| TOKIO               | 3     | 5      | 5         | 7            | 9       | 1     | 1         | 0.29411765         | 0.40540541 | 0.40540541 | 0.38181818 | 0.27272727 | 0.33475027      | 0.30731707 |
| SAO PAULO           | 3     | 3      | 3         | 7            | 9       | 1     | 1         | 0.29411765         | 0.24324324 | 0.24324324 | 0.38181818 | 0.27272727 | 0.33475027      | 0.30731707 |
| SUMA                | 10.20 | 12.33  | 12.33     | 18.33        | 33.00   | 2.99  | 3.25      |                    |            |            |            |            |                 |            |

Fuente. Propia.

La velocidad comercial promedio según el vector promedio anterior arrojo que los sistemas elevados de Tokio y Sao Pablo tienen mayor incidencia sobre los modos de transporte suspendidos y a nivel, con un 34% y 30% de incidencia respectivamente.

- Costo de viaje:**

En el costo de viaje se tomaron los valores de los pasajes ò tiquetes de cada uno de los modos de transporte, organizándolos de menor a mayor, donde el más económico predomino sobre el más costoso, cabe aclarar que los siguientes valores

fueron llevados a pesos moneda Colombiana, donde se logró apreciar tarifas extremadamente costosas, como en el caso del monorriel de Shonan, el cual su tarifa promedio es de \$17.629 pesos, al comparar estas tarifas se logra evidenciar que el monorriel de Shonan es el más costoso debido a su localización geográfica, donde Japón es uno de los países con el costo de vida más elevado a nivel mundial de esto radica su valor tan elevado en las tarifas.

**TABLA 9. Matriz de Viabilidad Técnica “Costo de Viaje”.**

| Costo de viaje en Pesos Colombianos |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ALTERNATIVAS                        | CANTIDAD  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BUS TPC                             | \$ 1,550  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TRANSMILENIO                        | \$ 2,000  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SAO PAULO                           | \$ 3,440  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CHIBA                               | \$ 6,170  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| WUPPERTAL                           | \$ 8,264  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TOKIO                               | \$ 14,691 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SHONAN                              | \$ 17,629 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| COSTO DE VIAJE |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |
|----------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            |            |
| CHIBA          | 1     | 7      | 1         | 1/5          | 1/5     | 7     | 1/3       | 0.06542056         | 0.15555556 | 0.04685408 | 0.06900329 | 0.1826087  | 0.04280473 |
| SHONAN         | 1/7   | 1      | 1/7       | 1/9          | 1/9     | 1/3   | 1/9       | 0.00934579         | 0.02222222 | 0.00669344 | 0.03833516 | 0.00869565 | 0.01426824 |
| WUPPERTAL      | 1     | 7      | 1         | 1/7          | 1/7     | 5     | 1/5       | 0.06542056         | 0.15555556 | 0.04685408 | 0.04928806 | 0.13043478 | 0.02568284 |
| TRANSMILENIO   | 5     | 9      | 7         | 1            | 1       | 9     | 3         | 0.3271028          | 0.2        | 0.32797858 | 0.34501643 | 0.23478261 | 0.38524256 |
| BUS TPC        | 5     | 9      | 7         | 1            | 1       | 9     | 3         | 0.3271028          | 0.2        | 0.32797858 | 0.34501643 | 0.23478261 | 0.38524256 |
| TOKIO          | 1/7   | 3      | 1/5       | 1/9          | 1/9     | 1     | 1/7       | 0.00934579         | 0.06666667 | 0.00937082 | 0.03833516 | 0.02608696 | 0.01834488 |
| SAO PAULO      | 3     | 9      | 5         | 1/3          | 1/3     | 7     | 1         | 0.19626168         | 0.2        | 0.23427041 | 0.11500548 | 0.1826087  | 0.12841419 |
| SUMA           | 15.29 | 45.00  | 21.34     | 2.90         | 2.90    | 38.33 | 7.79      |                    |            |            |            |            |            |

Fuente. Propia.

El vector promedio relacionado al Costo de viaje arrojó que los modos de transporte público a nivel como transmilenio y buses de servicio colectivo representaron mayor incidencia e importancia sobre los modos de transporte de tipo elevado, con porcentajes de incidencia del 31% cada uno.

**TABLA 10. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Seguridad”.**

| Seguridad en % |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ALTERNATIVAS   | CANTIDAD |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CHIBA          | 90%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SHONAN         | 90%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| WUPPERTAL      | 90%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TOKIO          | 80%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SAO PAULO      | 80%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TRANSMILENIO   | 60%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BUS TPC        | 50%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| SEGURIDAD    |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |
|--------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|              | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            |            |
| CHIBA        | 1     | 1      | 1         | 5            | 7       | 3     | 3         | 0.24940618         | 0.24940618 | 0.24940618 | 0.2238806  | 0.2        | 0.26011561 |
| SHONAN       | 1     | 1      | 1         | 5            | 7       | 3     | 3         | 0.24940618         | 0.24940618 | 0.24940618 | 0.2238806  | 0.2        | 0.26011561 |
| WUPPERTAL    | 1     | 1      | 1         | 5            | 7       | 3     | 3         | 0.24940618         | 0.24940618 | 0.24940618 | 0.2238806  | 0.2        | 0.26011561 |
| TRANSMILENIO | 1/5   | 1/5    | 1/5       | 1            | 3       | 1/3   | 1/3       | 0.04988124         | 0.04988124 | 0.04988124 | 0.04477612 | 0.08571429 | 0.02890173 |
| BUS TPC      | 1/7   | 1/7    | 1/7       | 1/3          | 1       | 1/5   | 1/5       | 0.03562945         | 0.03562945 | 0.03562945 | 0.01492537 | 0.02857143 | 0.01734104 |
| TOKIO        | 1/3   | 1/3    | 1/3       | 3            | 5       | 1     | 1         | 0.08313539         | 0.08313539 | 0.08313539 | 0.13432836 | 0.14285714 | 0.0867052  |
| SAO PAULO    | 1/3   | 1/3    | 1/3       | 3            | 5       | 1     | 1         | 0.08313539         | 0.08313539 | 0.08313539 | 0.13432836 | 0.14285714 | 0.0867052  |
| SUMA         | 4.01  | 4.01   | 4.01      | 22.33        | 35.00   | 11.53 | 11.53     |                    |            |            |            |            |            |

Fuente. Propia.

Los monorrieles suspendidos representaron un mayor índice de importancia sobre los demás modos de transporte público debido que su infraestructura está diseñada con el fin de brindar confort y seguridad a los usuarios que se transportan diariamente por este modo de transporte público. Representando el 24% de incidencia los monorrieles de Chiba, Shonan y Wuppertal, sobre los modos elevados y a nivel.

- **Porcentaje de Contaminación:**

En este criterio se utilizó la misma metodología AHP arrojando las siguientes matrices e información.

**TABLA 11. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Contaminación”.**

| Contaminación en % |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ALTERNATIVAS       | CANTIDAD |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CHIBA              | 5%       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SHONAN             | 5%       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| WUPPERTAL          | 5%       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TOKIO              | 10%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SAO PAULO          | 10%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TRANSMILENIO       | 70%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| BUS TPC            | 90%      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| % CONTAMINACION |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |                 |
|-----------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
|                 | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |
| CHIBA           | 1     | 1      | 1         | 7            | 9       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.20467836 | 0.17647059 | 0.26522593 | 0.26657264      |
| SHONAN          | 1     | 1      | 1         | 7            | 9       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.20467836 | 0.17647059 | 0.26522593 | 0.26657264      |
| WUPPERTAL       | 1     | 1      | 1         | 7            | 9       | 3     | 3         | 0.25506073         | 0.25506073 | 0.25506073 | 0.20467836 | 0.17647059 | 0.26522593 | 0.26657264      |
| TRANSMILENIO    | 1/7   | 1/7    | 1/7       | 1            | 5       | 1/5   | 1/7       | 0.03643725         | 0.03643725 | 0.03643725 | 0.02923977 | 0.09803922 | 0.01768173 | 0.01269394      |
| BUS TPC         | 1/9   | 1/9    | 1/9       | 1/5          | 1       | 1/9   | 1/9       | 0.02834008         | 0.02834008 | 0.02834008 | 0.00584795 | 0.01960784 | 0.00982318 | 0.00987306      |
| TOKIO           | 1/3   | 1/3    | 1/3       | 5            | 9       | 1     | 1         | 0.08502024         | 0.08502024 | 0.08502024 | 0.14619883 | 0.17647059 | 0.08840864 | 0.08885755      |
| SAO PAULO       | 1/3   | 1/3    | 1/3       | 7            | 9       | 1     | 1         | 0.08502024         | 0.08502024 | 0.08502024 | 0.20467836 | 0.17647059 | 0.08840864 | 0.08885755      |
| SUMA            | 3.92  | 3.92   | 3.92      | 34.20        | 51.00   | 11.31 | 11.25     |                    |            |            |            |            |            |                 |

Fuente. Propia.

Donde el vector promedio relacionado a la matriz de contaminación arrojo que los sistemas suspendidos son más amigables con el medio ambiente sobre los demás modos de transporte público con un porcentaje de incidencia del 24% cada uno.

- **Nivel de Mantenimiento:**

El criterio mantenimiento se tomó con base a registros históricos y tipos de mantenimientos realizados a cada uno de los modos de transporte de estudio jerarquizándolos de la siguiente manera.



**TABLA 12. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Mantenimiento”.**

| Mantenimiento % |          |
|-----------------|----------|
| ALTERNATIVAS    | CANTIDAD |
| TOKIO           | 15%      |
| SAO PAULO       | 15%      |
| CHIBA           | 20%      |
| SHONAN          | 20%      |
| WUPPERTAL       | 40%      |
| BUS TPC         | 80%      |
| TRANSMILENIO    | 90%      |

| MANTENIMIENTO (INFRAESTRUCTURA Y VEHICULOS) |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |                 |      |
|---------------------------------------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------|
|                                             | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |      |
| CHIBA                                       | 1     | 1      | 3         | 9            | 7       | 1/3   | 1/3       | 0.11645102         | 0.11525796 | 0.17298188 | 0.2        | 0.21649485 | 0.10681587      | 0.15 |
| SHONAN                                      | 1     | 1      | 3         | 7            | 5       | 1/3   | 1/3       | 0.11645102         | 0.11525796 | 0.17298188 | 0.15555556 | 0.15463918 | 0.10681587      | 0.13 |
| WUPPERTAL                                   | 1/3   | 1/3    | 1         | 7            | 5       | 1/5   | 1/5       | 0.03881701         | 0.03841932 | 0.05766063 | 0.15555556 | 0.15463918 | 0.06408952      | 0.08 |
| TRANSMILENIO                                | 1/9   | 1/7    | 1/7       | 1            | 1/3     | 1/9   | 1/9       | 0.012939           | 0.01646542 | 0.00823723 | 0.02222222 | 0.01030928 | 0.03560529      | 0.02 |
| BUS TPC                                     | 1/7   | 1/5    | 1/5       | 3            | 1       | 1/7   | 1/7       | 0.01663586         | 0.02305159 | 0.01153213 | 0.06666667 | 0.03092784 | 0.04577823      | 0.03 |
| TOKIO                                       | 3     | 3      | 5         | 9            | 7       | 1     | 1         | 0.34935305         | 0.34577387 | 0.28830313 | 0.2        | 0.21649485 | 0.32044761      | 0.29 |
| SAO PAULO                                   | 3     | 3      | 5         | 9            | 7       | 1     | 1         | 0.34935305         | 0.34577387 | 0.28830313 | 0.2        | 0.21649485 | 0.32044761      | 0.29 |
| SUMA                                        | 8.59  | 8.68   | 17.34     | 45.00        | 32.33   | 3.12  | 3.12      |                    |            |            |            |            |                 |      |

Fuente. Propia.

De lo anterior, los modos que necesitan menos mantenimiento son los de tipo elevado con un porcentaje de incidencia del 29%, como Tokio y Sao Pablo, hay que resaltar que todos los modos de transporte público necesitan mantenimientos preventivos como correctivos, pero en el caso de estos dos monorrieles el mantenimiento necesario es mínimo con respecto a los demás.

- Costos de construcción y operación.**

Uno de los criterios de mayor importancia e incidencia en la toma de decisiones para la implementación de determinado modo de transporte público, donde se organizaron todas las alternativas de menor a mayor costo de kilometro construido.

**TABLA 13. Matriz de Viabilidad Técnica “Porcentaje de Mantenimiento”.**

| Valor Contruido \$US/Km |                |
|-------------------------|----------------|
| ALTERNATIVAS            | CANTIDAD       |
| WUPPERTAL               | \$ 700,265     |
| BUS TPC                 | \$ 1,753,842   |
| TRANSMILENIO            | \$ 40,955,092  |
| TOKIO                   | \$ 55,979,639  |
| SAO PAULO               | \$ 70,195,118  |
| SHONAN                  | \$ 75,971,155  |
| CHIBA                   | \$ 158,713,324 |

| US MILLONES X KILOMETRO |       |        |           |              |         |       |           |                    |            |            |            |            |            |                 |      |
|-------------------------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-------|-----------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------|
|                         | CHIBA | SHONAN | WUPPERTAL | TRANSMILENIO | BUS TPC | TOKIO | SAO PAULO | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |      |
| CHIBA                   | 1     | 1/9    | 1/9       | 1/9          | 1/9     | 1/9   | 1/9       | 0.01818182         | 0.00369004 | 0.05216095 | 0.01135258 | 0.02145923 | 0.00892174 | 0.00473934      | 0.02 |
| SHONAN                  | 9     | 1      | 1/7       | 1/7          | 1/5     | 1/7   | 1/3       | 0.16363636         | 0.03321033 | 0.06706408 | 0.01459617 | 0.03862661 | 0.01147081 | 0.01421801      | 0.05 |
| WUPPERTAL               | 9     | 7      | 1         | 5            | 3       | 5     | 7         | 0.16363636         | 0.23247232 | 0.46944858 | 0.51086604 | 0.57939914 | 0.40147846 | 0.2985782       | 0.38 |
| TRANSMILENIO            | 9     | 7      | 1/5       | 1            | 1/3     | 3     | 5         | 0.16363636         | 0.23247232 | 0.09388972 | 0.10217321 | 0.06437768 | 0.24088708 | 0.21327014      | 0.16 |
| BUS TPC                 | 9     | 5      | 1/3       | 3            | 1       | 3     | 5         | 0.16363636         | 0.16605166 | 0.15648286 | 0.30651962 | 0.19313305 | 0.24088708 | 0.21327014      | 0.21 |
| TOKIO                   | 9     | 7      | 1/5       | 1/3          | 1/3     | 1     | 5         | 0.16363636         | 0.23247232 | 0.09388972 | 0.03405774 | 0.06437768 | 0.08029569 | 0.21327014      | 0.13 |
| SAO PAULO               | 9     | 3      | 1/7       | 1/5          | 1/5     | 1/5   | 1         | 0.16363636         | 0.099631   | 0.06706408 | 0.02043464 | 0.03862661 | 0.01605914 | 0.04265403      | 0.06 |
| SUMA                    | 55.00 | 30.11  | 2.13      | 9.79         | 5.18    | 12.45 | 23.44     |                    |            |            |            |            |            |                 |      |

Fuente. Propia.

Según lo anterior el modo de transporte más óptimo para una futura implementación es el monorriel de Wuppertal-Alemania, su infraestructura fue construida principalmente en estructura metálica, algo parecido a las estructuras de los puentes del sistema transmilenio de Bogotá, representando costos realmente asequibles

para su construcción y operación, con un porcentaje de incidencia del 38% sobre los demás modos de transporte del presente estudio.

- **MATRIZ DE JERARQUIZACION.**

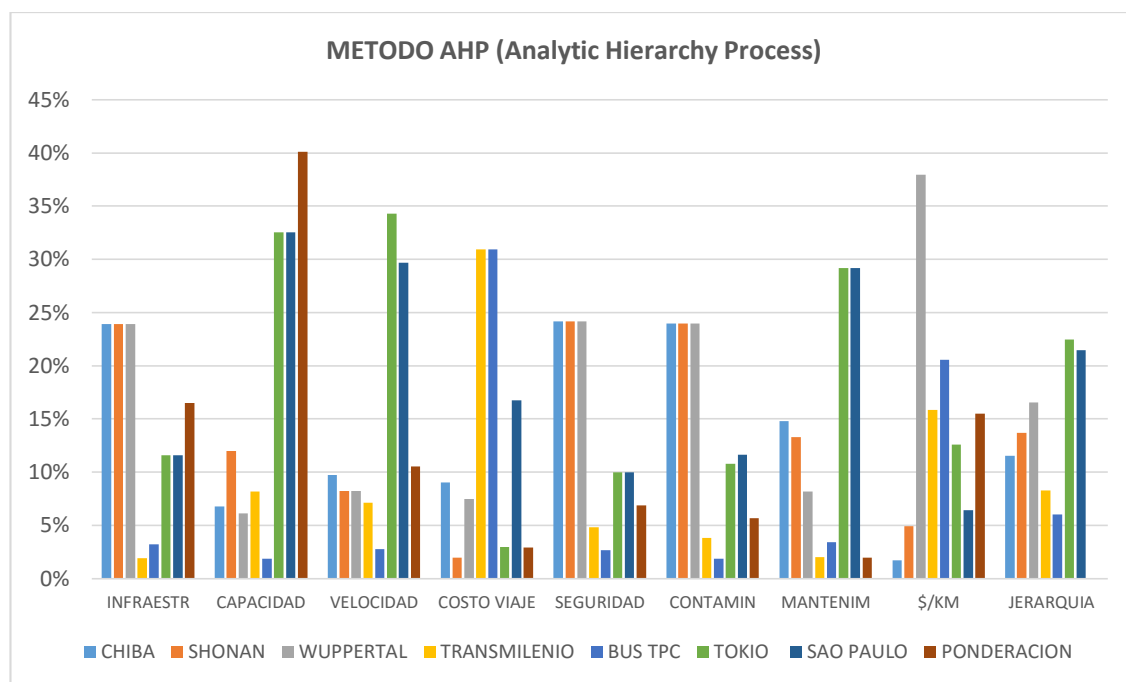
En esta matriz se toman todos los criterios que fueron utilizados para el análisis del sistema de transporte más óptimo a implementar en la Avenida Boyacá según las características de cada uno de los modos de transporte público, y de igual forma se jerarquizaron de mayor a menor importancia para la toma del sistema más completo y optimo dentro del objeto del estudio.

**TABLA 14. Matriz de Viabilidad Técnica “Matriz de jerarquización multicriterio”.**

| Jerarquizacion de Criterios |  |  |  |  |  |  |  |          |  |  |  |  |  |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|----------|--|--|--|--|--|
| ALTERNATIVAS                |  |  |  |  |  |  |  | CANTIDAD |  |  |  |  |  |
| CAPACIDAD                   |  |  |  |  |  |  |  | 1        |  |  |  |  |  |
| INFRAESTR                   |  |  |  |  |  |  |  | 2        |  |  |  |  |  |
| \$/KM                       |  |  |  |  |  |  |  | 3        |  |  |  |  |  |
| VELOCIDAD                   |  |  |  |  |  |  |  | 4        |  |  |  |  |  |
| SEGURIDAD                   |  |  |  |  |  |  |  | 5        |  |  |  |  |  |
| CONTAMIN                    |  |  |  |  |  |  |  | 6        |  |  |  |  |  |
| COSTO VIAJE                 |  |  |  |  |  |  |  | 7        |  |  |  |  |  |
| MANTENIM                    |  |  |  |  |  |  |  | 8        |  |  |  |  |  |

| MATRIZ COMPARACION POR PARES CRITERIOS. |           |           |           |             |           |          |          |       |                    |            |            |            |            |                 |             |             |      |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|----------|-------|--------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|-------------|-------------|------|
|                                         | INFRAESTR | CAPACIDAD | VELOCIDAD | COSTO VIAJE | SEGURIDAD | CONTAMIN | MANTENIM | \$/KM | MATRIZ NOMARLIZADA |            |            |            |            | VECTOR PROMEDIO |             |             |      |
| INFRAESTR                               | 1         | 1/5       | 3         | 7           | 3         | 5        | 8        | 1     | 0.12180974         | 0.09487952 | 0.23060029 | 0.19811321 | 0.16791045 | 0.20491803      | 0.177777778 | 0.121809745 | 0.16 |
| CAPACIDAD                               | 5         | 1         | 5         | 9           | 7         | 7        | 9        | 5     | 0.60904872         | 0.47439759 | 0.38433382 | 0.25471698 | 0.39179104 | 0.28688525      | 0.2         | 0.609048724 | 0.40 |
| VELOCIDAD                               | 1/3       | 1/5       | 1         | 5           | 3         | 3        | 7        | 1/3   | 0.04060325         | 0.09487952 | 0.07686676 | 0.14150943 | 0.16791045 | 0.12295082      | 0.155555556 | 0.040603248 | 0.11 |
| COSTO VIAJE                             | 1/7       | 1/9       | 1/5       | 1           | 1/3       | 1/5      | 3        | 1/5   | 0.01740139         | 0.05271084 | 0.01537335 | 0.02830189 | 0.01865672 | 0.00819672      | 0.066666667 | 0.024361949 | 0.03 |
| SEGURIDAD                               | 1/3       | 1/7       | 1/3       | 3           | 1         | 3        | 5        | 1/3   | 0.04060325         | 0.06777108 | 0.02562225 | 0.08490566 | 0.05997015 | 0.12295082      | 0.111111111 | 0.040603248 | 0.07 |
| CONTAMIN                                | 1/5       | 1/7       | 1/3       | 5           | 1/3       | 1        | 5        | 1/5   | 0.02436195         | 0.06777108 | 0.02562225 | 0.14150943 | 0.01865672 | 0.04098361      | 0.111111111 | 0.024361949 | 0.06 |
| MANTENIM                                | 1/5       | 1/9       | 1/7       | 1/3         | 1/5       | 1/5      | 1        | 1/7   | 0.02436195         | 0.05271084 | 0.01098097 | 0.00943396 | 0.01119403 | 0.00819672      | 0.022222222 | 0.017401392 | 0.02 |
| \$/KM                                   | 1         | 1/5       | 3.00      | 5.00        | 3.00      | 5.00     | 7.00     | 1     | 0.12180974         | 0.09487952 | 0.23060029 | 0.14150943 | 0.16791045 | 0.20491803      | 0.155555556 | 0.121809745 | 0.15 |
| TOTAL                                   | 8.21      | 2.11      | 13.01     | 35.33       | 17.87     | 24.40    | 45.00    | 8.21  |                    |            |            |            |            |                 |             |             |      |

**Figura 83. Resultados de viabilidad usando la metodología AHP.**



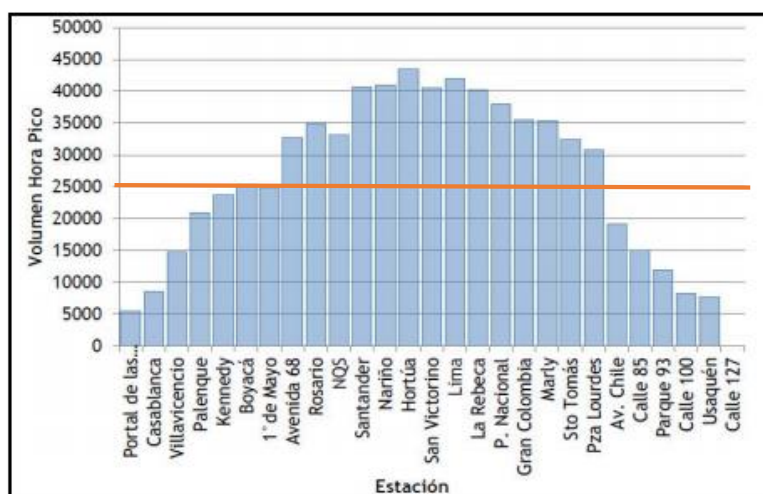
**Fuente.** Propia.

Como resultado de la implementación del método AHP, el sistema más óptimo, el cual cumple con la mayoría de los criterios analizados arrojó que el sistema monorriel de Tokio es la opción más viable a implementar en un futuro no muy lejano en el corredor de la Avenida Boyacá con un porcentaje de incidencia del 22% muy seguido del monorriel de Sao Paulo con el 21%, que en realidad son sistemas muy similares. No obstante también se analizó el mayor de los sistemas de transporte suspendido y se obtuvo un 17% de incidencia correspondiente al monorriel de Wuppertal.

## 9. SIMULACIÓN TEÓRICA DEL SISTEMA ELEVADO DE PASAJEROS.

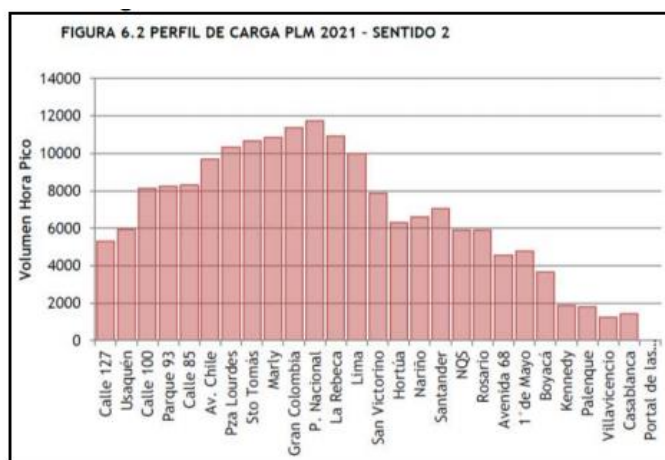
Ya determinada la viabilidad entre todos los sistemas de transporte público elevado según el capítulo anterior, se realizó el modelado de los dos sistemas de transporte tanto suspendido Wuppertal como el elevado de Tokio, en donde se tomaron todas las especificaciones técnicas de cada uno de los sistemas, para modelar la operación teórica que tendrían por la avenida Boyacá tomando como referencia la hora de máxima demanda de este corredor ya proyectada al 2021 según datos obtenidos de estudios previos de la proyección de la demanda de este impórtate corredor por parte de la firma Steer Davies & Gleave.

**Figura 84. Volúmenes de horas pico proyectadas al 2021 sentido SUR-NORTE**



**Fuente.** Contrato IDU 849-2013. Steer Davies & Gleave

**Figura 85. Volúmenes de horas pico proyectadas al 2021 sentido NORTE-SUR.**



**Fuente.** Contrato IDU 849-2013. Steer Davies & Gleave

Actualmente el comportamiento de la avenida Boyacá sentido Sur-Norte representa el mayor flujo en las horas pico, según aforos de volúmenes de pasajeros de la secretaria de movilidad como lo muestra la siguiente matriz de origen destino.

**TABLA 16. Matriz Origen-Destino Av. Boyaca.**

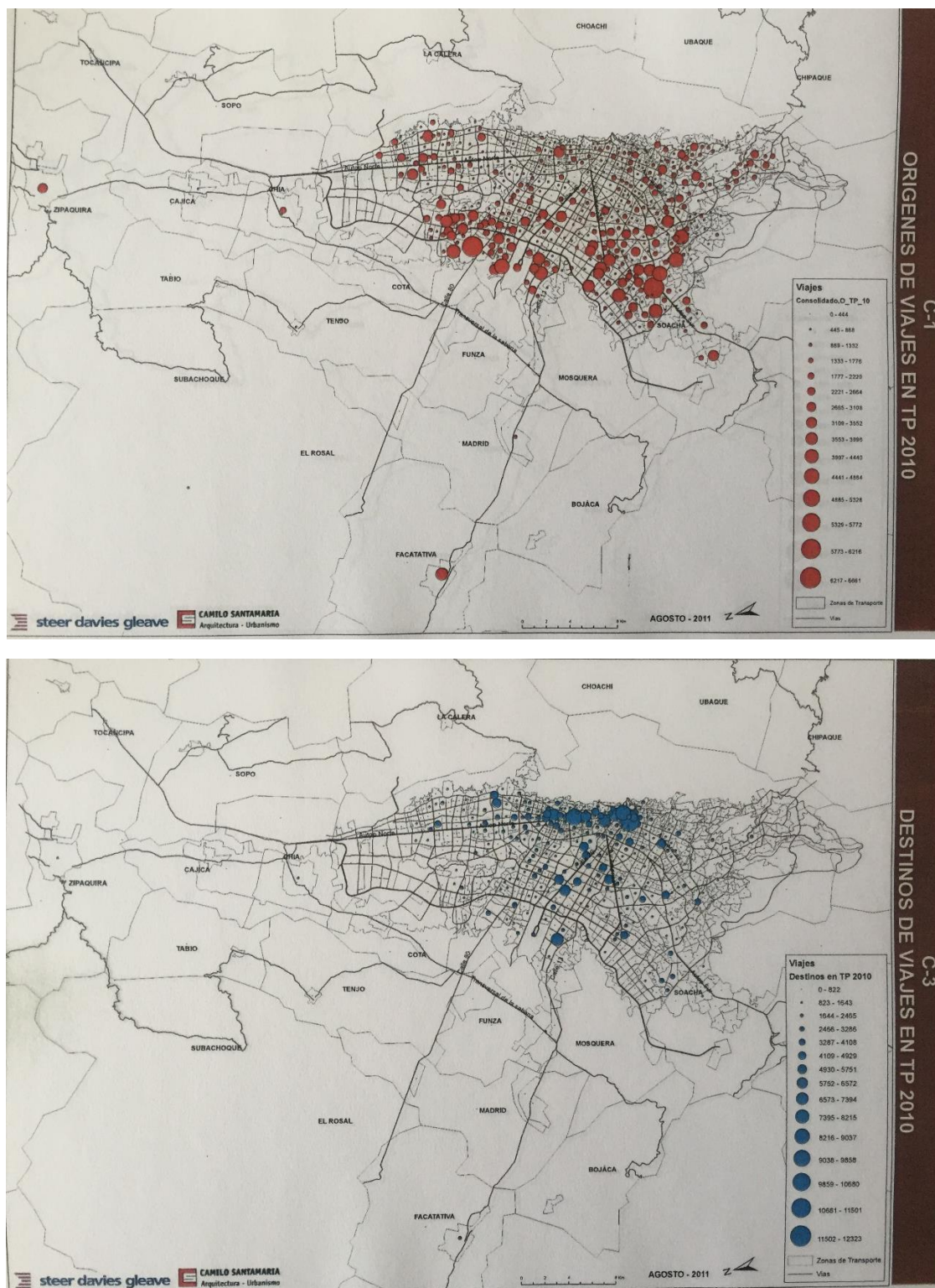
| Corredor Ppal  | De                  | A                 | TM | Sentido | Pas/HP | Sentido | Pas/HP |
|----------------|---------------------|-------------------|----|---------|--------|---------|--------|
| Kr. 10         | Cl. 6               | Cl. 19            |    | N-S     | 7684   | S-N     | 28638  |
| Kr. 10         | Cl. 48 Sur          | Av. 1 De Mayo     |    | N-S     | 4189   | S-N     | 18247  |
| Kr. 11         | Cl. 92              | Cl. 72            |    | N-S     | 6509   |         |        |
| Calle 13       | Av. Ciudad de Cali  | Av. 68            |    | N-S     | 1113   | S-N     | 2050   |
| Cl. 13         | Kr. 100             | Av. Cali          |    | E-W     | 5227   | W-E     | 7819   |
| Kr. 13         | Cl. 57              | Cl. 32            |    | NS      | 5770   | N-S     | 2020   |
| Kr. 15         | Cl. 72              | Cl. 92            |    | S-N     | 7017   |         |        |
| Kr. 15         | Cl. 100             | Cl. 127           |    | N-S     | 4960   | S-N     | 4215   |
| Cl. 170        | Av. Boyacá          | Auto Norte        |    | E-W     | 2095   | W-E     | 5753   |
| Kr. 17         | Cl. 45              | Cl. 72            |    | S-N     | 6891   |         |        |
| Av. 19         | Cl. 160             | Cl. 134           |    | N-S     | 4819   | S-N     | 2916   |
| Kr. 24         | Cl. 48a Sur         | Cl. 27 Sur        |    | N-S     | 2193   | S-N     | 11679  |
| Kr. 24         | Cl. 63              | Cl. 72            |    | S-N     | 9855   |         |        |
| Av. Gaitán C   | Cl. 51 Sur          | Cl. 42 Sur        |    | E-W     | 2716   | W-E     | 7097   |
| Cl. 53         | Kr. 77a             | Kr. 68            |    | E-W     | 1429   | W-E     | 2321   |
| Cl. 64         | Kr. 114             | Kr. 96            |    | E-W     | 840    | W-E     | 10665  |
| Av. 68         | Av. Américas        | Av. 1 De Mayo     |    | N-S     | 8861   | S-N     | 13695  |
| Av. 68         | Av. El Dorado       | Cl. 63            |    | NS      | 16082  | N-S     | 10389  |
| Av. 68         | Av. Chile           | Av. Suba          |    | N-S     | 7103   | S-N     | 12616  |
| Cl. 68         | Kr. 68              | Kr. 96            |    | EW      | 5262   | W-E     | 18261  |
| Kr. 7          | Cl. 127             | Cl. 153           |    | N-S     | 9162   | S-N     | 5639   |
| Kr. 7          | Cl. 72              | Cl. 92            |    | N-S     | 5342   | S-N     | 8064   |
| Av. Agoberto M | Av. Villavicencio   | Av. Américas      |    | N-S     | 2848   | S-N     | 4674   |
| Av. Américas   | Av. Agoberto M      | Av. 68            | 1  | E-W     | 2672   | W-E     | 5459   |
| Autosur        | Av. Bosa            | Av. Boyacá        | 1  | N-S     | 3868   | S-N     | 9173   |
| Av. Boyacá     | Av. Ferrocarril Sur | Av. Américas      |    | N-S     | 9684   | S-N     | 15113  |
| Av. Boyacá     | Cl. 26              | Cl. 13            |    | N-S     | 5482   | S-N     | 24066  |
| Av. Boyacá     | Cl. 80              | Cl. 127           |    | N-S     | 5081   | S-N     | 8837   |
| Av. Boyacá     | Cl. 60a Sur         | Av. Caracas       |    | N-S     | 2458   | S-N     | 8546   |
| Av. Cali       | Cl. 90              | Cl. 68            |    | N-S     | 8893   | S-N     | 4077   |
| Av. Cali       | Av. Américas        | Cl. 13            |    | N-S     | 5792   | S-N     | 18512  |
| Av. Caracas    | Portal Usme         | Calle 56 Sur      | 1  | N-S     | 2882   | S-N     | 6674   |
| Av. Caracas    | Calle 56 Sur        | Av. Villavicencio | 1  | N-S     | 1870   | S-N     | 5634   |
| Av. Caracas    | Portal Tunal        | Calle 27 Sur      | 1  | E-W     | 2701   | W-E     | 4003   |
| Av. El Dorado  | Av. 68              | Kr. 50            |    | E-W     | 5299   | W-E     | 11649  |
| Av. Esperanza  | Av. Boyacá          | Kr. 96            |    | E-W     | 2921   | W-E     | 5013   |
| Av. 1 De Mayo  | Av. 68              | NQS               |    | E-W     | 5518   | W-E     | 11403  |
| Av. 1 De Mayo  | Kr. 24              | Kr. 10            |    | E-W     | 9655   | W-E     | 6289   |
| NQS            | Cl. 13              | Cl. 8 Sur         | 1  | N-S     | 3280   | S-N     | 8413   |
| NQS            | Cl. 80              | Cl. 45            | 1  | NS      | 4562   | SN      | 6445   |

**Fuente.** Consultoría SITP a partir de aforos Secretaria de movilidad.

Corroborando la siguiente información, a continuación se muestran los destinos de viaje al año 2010 y proyección al 2018.



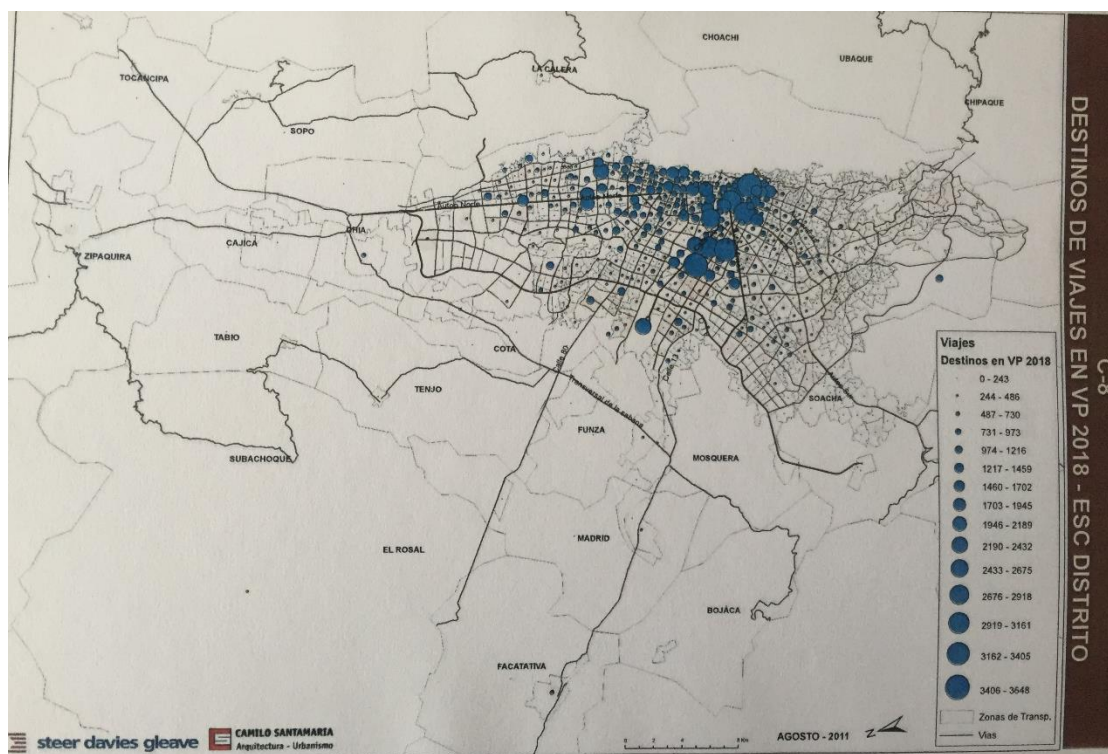
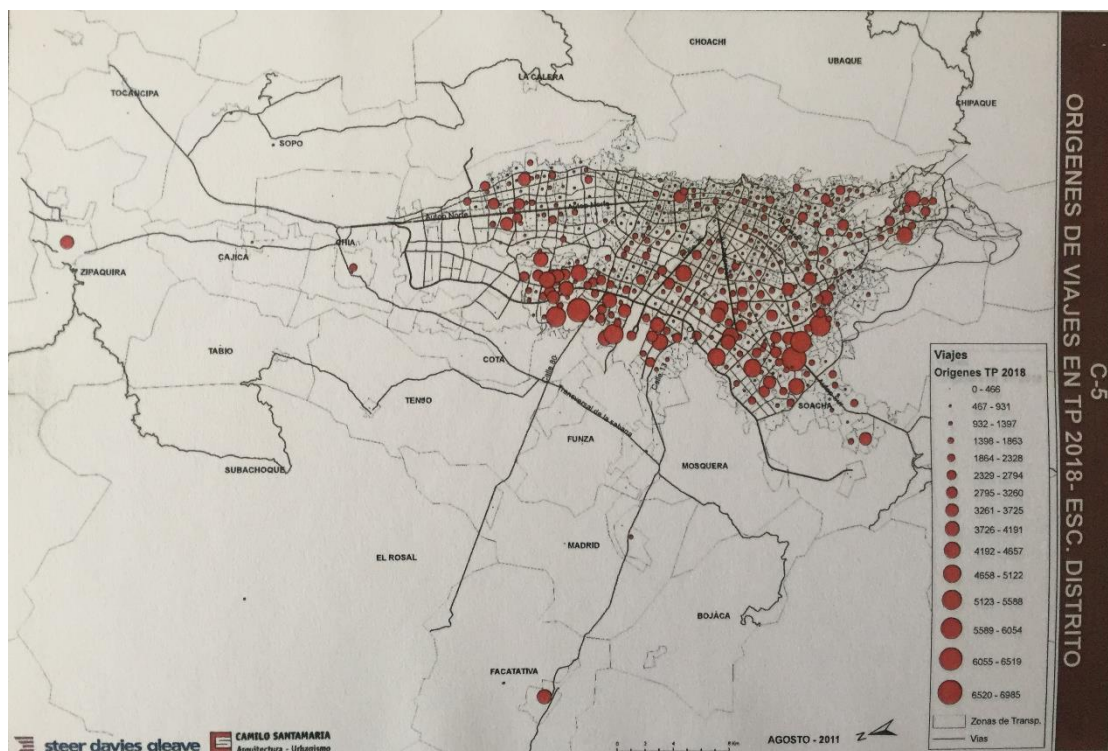
**Figura 86. Origen-Destino de viajes en Transporte Publico al Año 2010.**



**Fuente.** Steer Davies y Camilo Santamaria.



**Figura 87. Origen-Destino de viajes en Transporte Publico al Año 2018.**



**Fuente.** Steer Davies y Camilo Santamaria.

En las figuras No. 19 y 20, se puede analizar que según los estudios realizados por Steer Davies la hora de máxima de manda en la avenida Boyacá se presenta en el sentido Sur-Norte con un volumen proyectado de pasajeros de 25.000, hora pico por sentido al año 2021.

Tomando la hora pico máxima proyectada se procede a modelar la operación de los diferentes modelos de transporte público, que en este caso se tomaron los modos de transporte público de Wuppertal y Tokio.

Para determinar la capacidad de estos sistemas de transporte público, se tomaron las características y especificaciones técnicas de ambos modos, siguiendo los lineamientos del manual de capacidad de carreteras, versión en español del “Highway Capacity Manual”.

1. Según el “Highway Capacity Manual” la capacidad de la línea de transporte se determina bajo la siguientes ecuaciones:

$$Cv = \frac{3600 * R}{h} = \frac{3600 * R}{Tps + td}$$

$$Cp = n * c * Cv = \frac{3600 * n * c * R}{Tps + td}$$

Donde:

Cv: Capacidad máxima en (vehículos/hora).

Cp: Capacidad máxima de pasajeros hora sentido.

n: Es igual a la cantidad de vagones por formación.

c: Es igual al número pasajeros por vagón.

I: Es el intervalo entre dos unidades consecutivas.

Td: Es el tiempo de despeje entre vehículos consecutivos.

Tps: Es el tiempo de parada en servicio de pasajeros.

R: Es el factor de reducción de la capacidad (para sistemas de transporte con vías exclusivas el valor es igual a 1).

| Monorriel Suspendido de Wuppertal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Monorriel elevado de Tokio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------|---|-------------------------------|-----|--------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--|-----------------------------|---|-------------------------------|-----|--------------------|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Monorriel Wuppertal</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de Coches* Monorriel</td><td>2</td></tr> <tr> <td>Capacidad de pasajeros* coche</td><td>100</td></tr> <tr> <td>Velocidad Promedio</td><td>27.5</td></tr> </tbody> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Monorriel Wuppertal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | Número de Coches* Monorriel | 2 | Capacidad de pasajeros* coche | 100 | Velocidad Promedio | 27.5 | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Monorriel de Tokio</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de Coches* Monorriel</td><td>6</td></tr> <tr> <td>Capacidad de pasajeros* coche</td><td>172</td></tr> <tr> <td>Velocidad Promedio</td><td>40</td></tr> </tbody> </table> | Monorriel de Tokio |  | Número de Coches* Monorriel | 6 | Capacidad de pasajeros* coche | 172 | Velocidad Promedio | 40 |
| Monorriel Wuppertal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Número de Coches* Monorriel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Capacidad de pasajeros* coche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Velocidad Promedio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 27.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Monorriel de Tokio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Número de Coches* Monorriel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Capacidad de pasajeros* coche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 172                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| Velocidad Promedio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |
| <p><b>Capacidad de la línea en Hora pico.</b></p> <p>Para el desarrollo de la ecuación Cv.<br/>Se tomó el intervalo mínimo entre unidades<br/><math>I_{min} = T_{ps} + t_d</math>, donde se estableció como<br/><math>I_{min} = 120</math> segundos (tomado del manual de<br/>capacidad de carreteras pag. 509)</p> <p>Entonces:</p> $Cv = \frac{3.600 * 1}{120seg} = 30veh/hr$ <p>Donde el factor R es igual a 1 por transitar por<br/>una vía exclusiva.</p> $Cp = 2Coches * 100pasajeros * 30veh/hr$ $Cp = 6.000 Pasajeros/hora$ <p>Esta es la capacidad permitida para el<br/>dimensionado de la línea en hora pico según<br/>las especificaciones técnicas de este sistema.</p> | <p><b>Capacidad de la línea en Hora pico.</b></p> <p>Para el desarrollo de la ecuación Cv.<br/>Se tomó el intervalo mínimo entre unidades<br/><math>I_{min} = T_{ps} + t_d</math>, donde se estableció como<br/><math>I_{min} = 120</math> segundos (tomado del manual de<br/>capacidad de carreteras pag. 509)</p> <p>Entonces:</p> $Cv = \frac{3.600 * 1}{120seg} = 30veh/hr$ <p>Donde el factor R es igual a 1 por transitar por<br/>una vía exclusiva.</p> $Cp = 6coches * 172pasajeros * 30veh/hr$ $Cp = 30.960 Pasajeros/hora$ <p>Esta es la capacidad permitida para el<br/>dimensionado de la línea en hora pico según las<br/>especificaciones técnicas de este sistema.</p> |  |                             |   |                               |     |                    |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |  |                             |   |                               |     |                    |    |

| Monorriel Suspendido de Wuppertal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Monorriel elevado de Tokio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div data-bbox="472 300 711 422" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="337 468 846 527"><b>Capacidad de la línea asumiendo 25.000 pasajeros hora sentido en hora pico.</b></p> <p data-bbox="313 562 870 680">Para una capacidad de 25.000 pasajeros hora pico se necesita saber cuántos son los vehículos necesarios para satisfacer esa demanda, y con qué frecuencia.</p> $N = \frac{Vh * 2L}{n * c * v}$ <p data-bbox="313 829 870 1178"> Donde:<br/> Vh: pasajeros en hora pico.<br/> L: longitud de la línea<br/> n: número de vagones ò coches por unidad de monorriel.<br/> c: capacidad de pasajero por vagón.<br/> v: velocidad comercial dada de la siguiente forma: <math>v = \frac{2L}{T}</math><br/> T: Tiempo en dar una vuelta (ida y regreso en la línea de 30Km, con su velocidad promedio de 27.5km/h), T= 2.2hrs </p> <p data-bbox="313 1209 870 1266">La velocidad comercial para este monorriel es de:</p> $v = \frac{2 * L}{T} = \frac{2 * 30km}{2,2hrs} = 27,5km/h$ <p data-bbox="313 1402 870 1491">La cantidad de vehículos necesarios para suplir la demanda de 25.000 pasajeros hora pico está dada con la siguiente ecuación.</p> $N = \frac{25.000 * 2 * 30km}{2 * 100 * 27,5} = 273 \text{ vehiculos}$ <p data-bbox="313 1623 870 1686">273 vehículos monorriel para suplir la demanda de 25.000 pasajeros en hora pico.</p> | <div data-bbox="956 300 1398 422" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="924 462 1432 520"><b>Capacidad de la línea asumiendo 25.000 pasajeros hora sentido en hora pico.</b></p> <p data-bbox="899 556 1456 674">Para una capacidad de 25.000 pasajeros hora pico se necesita saber cuántos son los vehículos necesarios para satisfacer esa demanda, y con qué frecuencia.</p> $N = \frac{Vh * 2L}{n * c * v}$ <p data-bbox="899 823 1456 1171"> Donde:<br/> Vh: pasajeros en hora pico.<br/> L: longitud de la línea<br/> n: número de vagones ò coches por unidad de monorriel.<br/> c: capacidad de pasajero por vagón.<br/> v: velocidad comercial dada de la siguiente forma: <math>v = \frac{2L}{T}</math><br/> T: Tiempo en dar una vuelta (ida y regreso en la línea de 30Km, con su velocidad promedio de 40km/h), T= 1.5hrs </p> <p data-bbox="899 1203 1456 1260">La velocidad comercial para este monorriel es de:</p> $v = \frac{2 * L}{T} = \frac{2 * 30km}{1,5hrs} = 40km/h$ <p data-bbox="899 1396 1456 1484">La cantidad de vehículos necesarios para suplir la demanda de 25.000 pasajeros hora pico está dada con la siguiente ecuación.</p> $N = \frac{25.000 * 2 * 30km}{6 * 172 * 40} = 36 \text{ vehiculos}$ <p data-bbox="899 1617 1456 1680">36 vehículos monorriel para suplir la demanda de 25.000 pasajeros en hora pico.</p> |

| Monorriel Suspendido de Wuppertal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Monorriel elevado de Tokio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p data-bbox="371 552 810 579"><b>Frecuencia estimada en Hora pico.</b></p> <p data-bbox="313 615 870 701">La frecuencia estimada para la demanda de 25.000 pasajeros en hora pico, con 273 vehículos estará dada de la siguiente manera.</p> $I = \frac{T * 60}{N}$ <p data-bbox="313 814 415 842">Donde:</p> <p data-bbox="313 888 870 1026">I: a la frecuencia en minutos.<br/>T: tiempo de la vuelta en horas<br/>N: número de vehículos monorriel necesarios.</p> <p data-bbox="313 1073 456 1100">Entonces:</p> $I = \frac{2,2 * 60}{273} = 0,5min$ <p data-bbox="313 1215 870 1320">0,5 minutos son los necesarios entre monorrieles para la demanda máxima de pasajeros en hora pico.</p> | <p data-bbox="919 300 1174 327"><b>MONORRIEL ELEVADO</b></p>  <p data-bbox="959 552 1398 579"><b>Frecuencia estimada en Hora pico.</b></p> <p data-bbox="901 615 1458 701">La frecuencia estimada para la demanda de 25.000 pasajeros en hora pico, con 273 vehículos estará dada de la siguiente manera.</p> $I = \frac{T * 60}{N}$ <p data-bbox="901 814 1003 842">Donde:</p> <p data-bbox="901 888 1458 1026">I: a la frecuencia en minutos.<br/>T: tiempo de la vuelta en horas<br/>N: número de vehículos monorriel necesarios.</p> <p data-bbox="901 1073 1044 1100">Entonces:</p> $I = \frac{1,5 * 60}{36} = 2,5min$ <p data-bbox="901 1215 1458 1320">2,5 minutos son los necesarios entre monorrieles para la demanda máxima de pasajeros en hora pico.</p> |

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **INTRODUCCIÓN.**

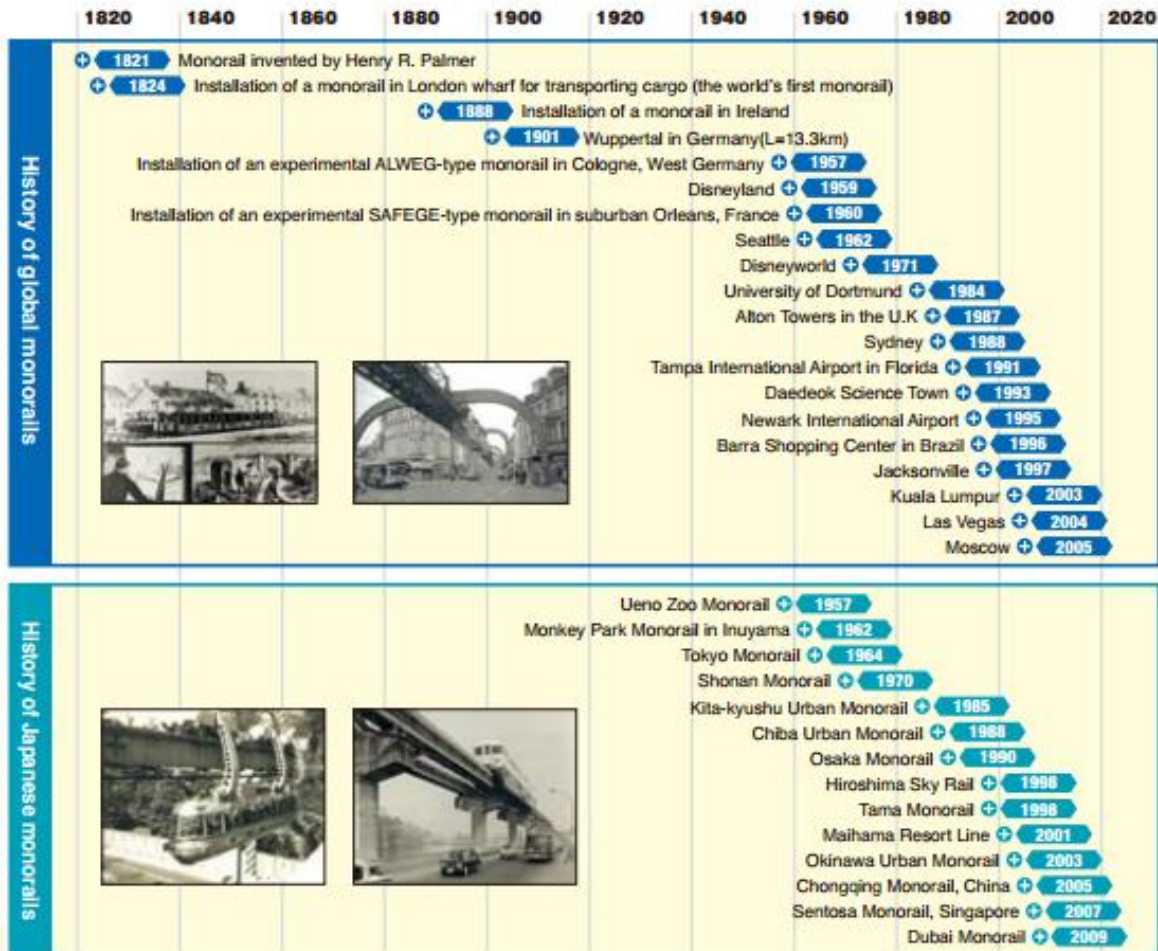
Desde el inicio hasta el final de este trabajo de investigación, se expuso y se desarrolló la propuesta de implementación de nuevos modos de transporte público que fueran sustentables e innovadores, con la finalidad de dejar una brecha abierta para reevaluar la implementación de modos de transporte convencionales TPC y BRT por las principales vías de Bogotá, y especialmente en la Avenida Boyacá, como tema de estudio del presente trabajo. A continuación se sustentaran los resultados obtenidos, con los que se comprobó la hipótesis planteada sobre la viabilidad de estos modos de transporte público de tipo elevado.

### **SISTEMAS DE TRANSPORTE ELEVADO.**

1. En la etapa de búsqueda y análisis de información bibliográfica acerca de los sistemas de transporte elevado del mundo, se encontró que existen sistemas guiados sobre viga y suspendidos, ambos sistemas diseñados para prestar el servicio de transporte de pasajeros, claros ejemplos de estos sistemas son: Monorriel de Wuppertal-Alemania (tipo suspendido), Monorriel de Chiba-Japón (tipo suspendido), Monorriel de Shonan-Japón (tipo suspendido), Monorriel de Tokio-Japón (Tipo sobre viga guía) y el Monorriel de Sao Paulo-Brasil (tipo sobre viga guía), como los modelos más representativos a nivel mundial.
2. Como resultado de la búsqueda de información, se encontró que los sistemas de monorriel poseen características de eficiencia, capacidad, velocidad y seguridad, similares a los sistemas de metro.
3. La mayoría de los sistemas de monorriel de tipo elevado mencionados anteriormente fueron inaugurados y puestos en funcionamiento a mediados de los años 1950 y a la fecha son sistemas que siguen en operación, como modos de transportes públicos intermodales y sustentables.



### Línea de tiempo de proyectos de monorriel en el mundo.

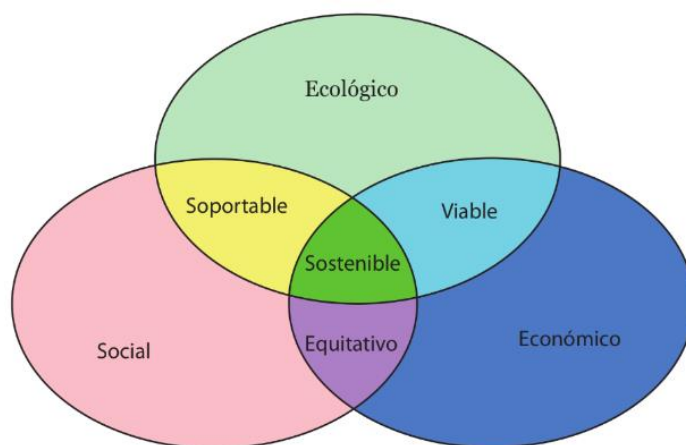


Fuente. Japan Monorail Association Guide.

- Una de las ventajas de estos sistemas, es la versatilidad que tienen para ser implementados en cualquier lugar o espacio urbanístico, sus trazados se adaptan a las principales vías, con radios de curvatura muy cerrados y pendientes considerables para su operación, ventajas que no poseen la mayoría de los sistemas masivos de transporte de pasajeros.
- La sostenibilidad es un papel que se encuentra fuertemente relacionado cuando se habla de estos sistemas de transporte público, todos son diseñados para funcionar con energías renovables para mitigar al máximo el

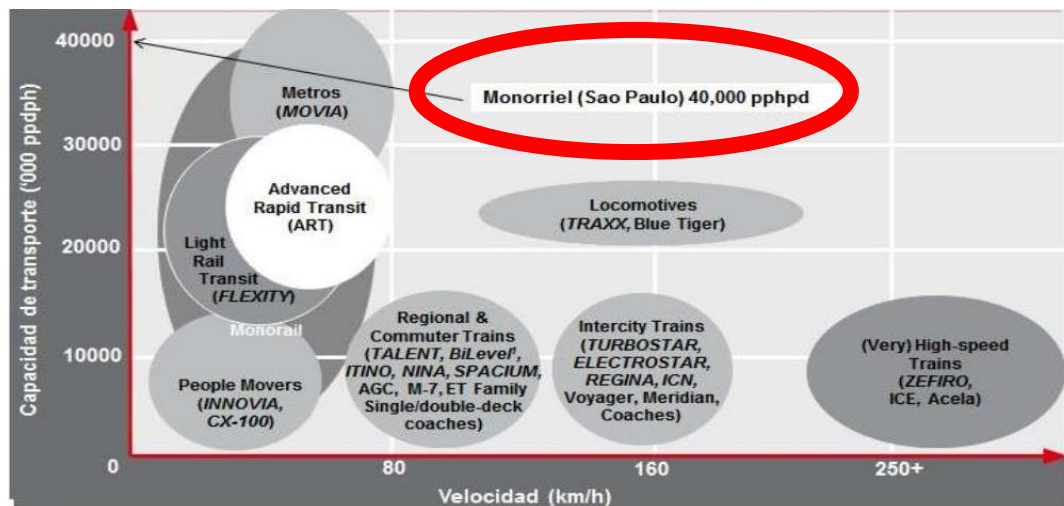
impacto ambiental, lo cual no poseen los demás modos de transporte público que funcionan a base de combustibles fósiles no renovables.

**Diagrama de sostenibilidad**

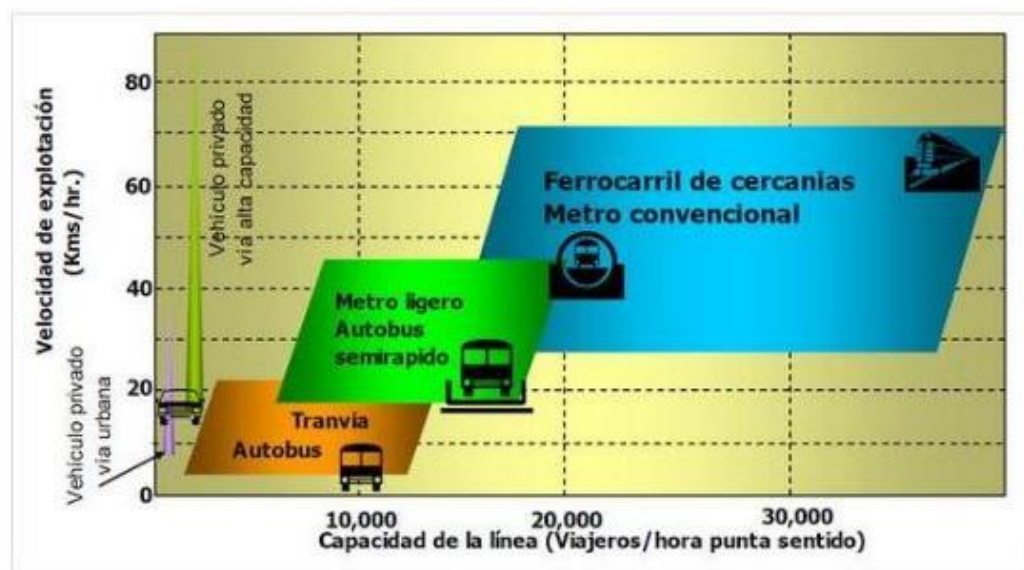


**Fuente: José María Velázquez, Implementación de los planos de movilidad sostenible, Federación Española de Municipios y Provincias, Año 2011.**

6. Además la infraestructura requerida para estos sistemas de transporte público, está diseñada bajo los lineamientos y normativas de sostenibilidad, con el fin de reducir al máximo el impacto, sonoro, visual y ambiental que puedan generar estos sistemas durante su puesta en operación.
7. Es posible que el impacto visual que producen estos sistemas de transporte público en el área de influencia del mismo, tenga algo de incidencia en la población, no obstante, se deberían realizar estudios y diseños arquitectónicos basados en la reducción del impacto visual que generan estos sistemas, y por el contrario ser más armónicos con el medio que los rodea, el ejemplo más representativo en la mitigación del impacto visual es el monorriel de Chiba-Japón.
8. Estos modos de transporte elevado, son los más adecuados para tramos donde la demanda de pasajeros es más de 20.000pphs (pasajeros por hora por sentido), y pueden transportar más de 125.000 pasajeros al día, uno de los ejemplos más destacados son los monorrieles de Sao Pablo y Tokio más de los 30.000 pphps y con velocidades promedio de 40km/h como lo muestra la siguiente gráfica.



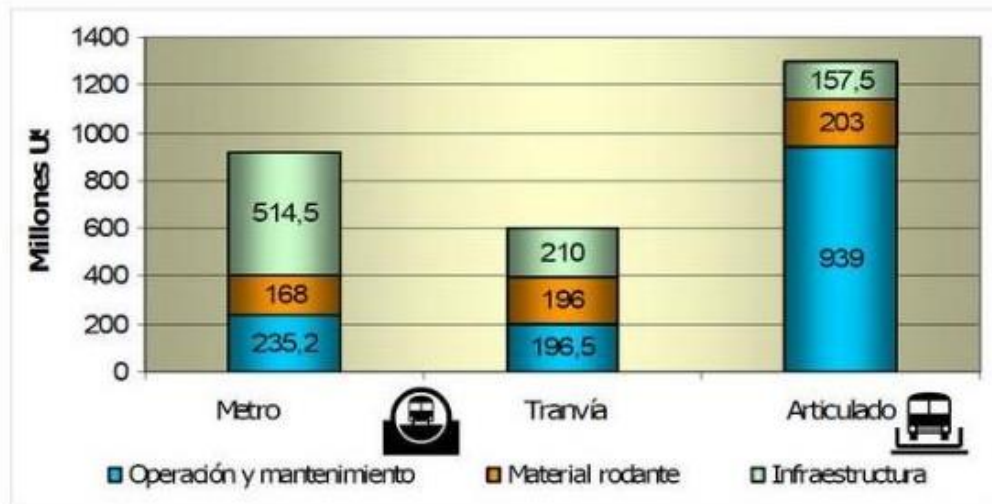
Fuente. Bombardier Systems INNOVIA.



Fuente. Rios Alberto, Conexión esan. 2012

9. En Bogotá, la idea de implementar otros sistemas de transporte de pasajeros, se encuentra lejos de la realidad, todo el sistema de transporte público de la capital está diseñado principalmente para alimentar al sistema transmilenio, ignorando por completo la existencia de otros modos de transporte sustentables como los monorrieles de tipo elevado, que son una realidad en otros países del mundo.

10. Los costos de infraestructura relacionados con la construcción, compra y renovación de material rodante, operación y mantenimiento de los sistemas de monorriel y tranvías son más económicos a comparación de los BRT y Metros a una vida útil de 30 años.



Fuente. Rios Alberto, Conexión esan. 2012

### **CORREDOR DE LA AVENIDA BOYACÁ.**

1. Durante el seguimiento realizado a lo largo de este trabajo de investigación, se observó y se analizó, los principales factores que incidían en la problemática de movilidad de la avenida Boyacá, donde se pudieron destacar los siguientes:
  - Inseguridad.
  - Crecimiento urbano y comercial.
  - Incremento del parque automotor de automóviles.
  - Incremento del parque automotor de Motos.
  - Accidentalidad de los ciclistas
  - El surgimiento de otros modos de transporte individual.
  - La problemática del servicio público colectivo.
  - El tránsito de vehículos de carga.
  - Imprudencia y falta de cultura ciudadana.
2. Durante la etapa de análisis se puede concluir que la inseguridad es uno de los factores que golpea indirectamente la movilidad del corredor de la avenida



Boyacá, siendo los más afectados peatones y ciclistas, la falta de iluminación a lo largo de este corredor es propicio para hechos delictivos de robo, y como efecto a este problema los usuarios prefieren movilizarse en vehículos particulares, motos en vez del servicio público y modos sustentables como la bicicleta.

3. El comportamiento del crecimiento urbano, comercial e industrial dentro del área de influencia de la Avenida Boyacá, juega un papel muy importante dentro de la problemática que se vive a diario en términos de movilidad, a causa de los nuevos proyectos de urbanismo y comercio que se tienen proyectados a corto plazo, los cuales requieren una mayor infraestructura para soportar la demanda de pasajeros proyectada para los próximos 30 años y que el actual sistema de transporte público no está dispuesto a soportar. (Ver capítulo contexto poblacional Avenida Boyacá).
4. El incremento del parque automotor tanto de motos y vehículos particulares es una de las causas del congestionamiento de este corredor, ambos modos han demostrado una tendencia de crecimiento considerable, al año 2015 el parque automotor de automóviles llegó a 2' 183.457 en Bogotá, y el de motos a 700.000 en el presente año, en promedio transitan 1.600 motos hora sentido por la avenida Boyacá, dato tomado en campo.



Fuente. Propia.



Fuente. Propia.

5. La accidentalidad es un factor asociado a todos los usuarios y modos de transporte tanto público como privado que interactúan en este importante corredor, en promedio se reportan 8 accidentes diarios en la Avenida Boyacá, en la mayoría de estos involucran motociclistas.



Fuente. Propia.



- La calidad del transporte TPC, es ineficiente e inseguro, la mayoría de buses y busetas que circulan por este corredor se encuentran en malas condiciones de servicio, sin contar la irresponsabilidad por parte de los conductores que ponen en riesgo a usuarios, por la constante guerra del centavo entre buses.
- El transporte de carga y mercancías está fuertemente relacionado con la congestión de la avenida Boyacá, donde diariamente entran 2.619 y salen 2.706 vehículos de transporte de carga diariamente, siendo una de las causas de saturación de la capacidad instalada de la vía.

### VIABILIDAD TECNICA.

- Para determinar la viabilidad técnica del modo ó sistema de transporte más adecuado de pasajeros, para la futura implementación en la Avenida Boyacá, se utilizó uno de los métodos más usados en este tipo de proyectos AHP, (Analytic Hierarchy Process), donde se pudo concluir que los sistemas elevados de monorriel sobre viga guía de Tokio y Sao Pablo Brasil, son los más óptimos a implementar con porcentajes del 22 y 23 por ciento respectivamente, dentro del análisis jerárquico sobre los demás modos de transporte estudiados.

|              | INFRAESTR | CAPACIDAD | VELOCIDAD | COSTO VIAJE | SEGURIDAD | CONTAMIN | MANTENIM | \$/KM | JERARQUIA |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|----------|-------|-----------|
| CHIBA        | 0.24      | 0.07      | 0.10      | 0.09        | 0.24      | 0.24     | 0.15     | 0.02  | 0.12      |
| SHONAN       | 0.24      | 0.12      | 0.08      | 0.02        | 0.24      | 0.24     | 0.13     | 0.05  | 0.14      |
| WUPPERTAL    | 0.24      | 0.06      | 0.08      | 0.07        | 0.24      | 0.24     | 0.08     | 0.38  | 0.17      |
| TRANSMILENIO | 0.02      | 0.08      | 0.07      | 0.31        | 0.05      | 0.04     | 0.02     | 0.16  | 0.08      |
| BMS TPC      | 0.03      | 0.02      | 0.03      | 0.31        | 0.03      | 0.02     | 0.03     | 0.21  | 0.05      |
| TOKIO        | 0.12      | 0.33      | 0.34      | 0.03        | 0.10      | 0.11     | 0.29     | 0.13  | 0.22      |
| SAO PAULO    | 0.12      | 0.33      | 0.30      | 0.17        | 0.10      | 0.12     | 0.29     | 0.06  | 0.21      |
| PONDERACION  | 0.16      | 0.40      | 0.11      | 0.03        | 0.07      | 0.06     | 0.02     | 0.15  |           |

Fuente. Propia.

### MODELADO DEL SISTEMA POR LA AVENIDA BOYACÁ.

En lo desarrollado en este capítulo se pudo concluir lo siguiente:

- Tomando los datos de abordajes totales de máxima demanda en hora pico por la firma de Steer Davies & Gleave, proyectada al año 2021, se modelaron los sistemas más óptimos a implementar por la avenida Boyacá, tomados del procedimiento de viabilidad técnica, donde se tomaron las características y

especificaciones de cada monorriel en el escenario más crítico de pasajeros en hora pico.

2. En el desarrollo de la operación que tendrían estos sistemas de transporte elevados con una demanda de 25.000 pasajeros hora sentido por la avenida Boyacá proyectada al año 2021 y una longitud de la línea de operación de 30km, se obtuvo lo siguiente:
  - Monorriel de Wuppertal (tipo Suspendido): Con una demanda de hora pico de 25.000 pasajeros hora sentido al año 2021 y tomando los lineamientos y procedimientos del “Highway Capacity Manual” la cantidad de vehículos necesarios es de 273 (de 2 vagones cada uno), con un frecuencia de 30 a 50 segundos entre monorrieles, con una velocidad comercial de 27,5Km/h para una óptima operación en el servicio.
  - Monorriel de Sao Paulo (tipo elevado sobre viga guía): Con una demanda de hora pico de 25.000 pasajeros hora sentido al año 2021 y tomando los lineamientos y procedimientos del “Highway Capacity Manual” la cantidad de vehículos necesarios es de 36 (de 6 vagones cada uno), con un frecuencia de 2.5 minutos entre monorrieles, con una velocidad comercial de 40km/h para óptima operación en el servicio.
3. Para determinar el desempeño que tendrían cada uno de los modos seleccionados, se analizó la capacidad de la línea en hora pico por modo, sin tener en cuenta el volumen de pasajeros en hora pico en la avenida Boyacá, lo cual se obtuvo que el monorriel suspendido de Wuppertal está diseñado para una capacidad de 6.000 pasajeros por hora y el monorriel de Tokio y Brasil con capacidades de línea en hora pico de 31.000 pasajeros hora. Lo cual se corrobora con el siguiente gráfico.

| NO. OF CARS | LENGTH OF TRAIN | NOMINAL LOADING |         | CRUSH LOADING |         |                                          |                                        | STATION LOADING LENGTH (Minimum) |
|-------------|-----------------|-----------------|---------|---------------|---------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
|             |                 | ONE TRAIN       |         | ONE TRAIN     |         | PER HOUR SINGLE GUIDEWAY 90 SEC. HEADWAY | PER HOUR DUAL GUIDEWAY 90 SEC. HEADWAY |                                  |
|             |                 | SEATED          | STANDEE | SEATED        | STANDEE |                                          |                                        |                                  |
| 1           | 31.2' (9.5m)    | 18              | 25      | 18            | 36      | 2,160                                    | 4,320                                  | 16' (5.0)                        |
| 2           | 57.2' (17.4m)   | 36              | 48      | 36            | 61      | 4,360                                    | 8,720                                  | 32' (9.8m)                       |
| 3           | 79.2' (24.1m)   | 58              | 72      | 58            | 102     | 6,400                                    | 12,800                                 | 54' (16.5m)                      |
| 4           | 101.2' (30.5m)  | 78              | 93      | 78            | 137     | 8,600                                    | 17,200                                 | 76' (23.2m)                      |
| 5           | 123.2' (37.5m)  | 98              | 114     | 98            | 172     | 10,800                                   | 21,600                                 | 98' (29.9m)                      |
| 6           | 145.2' (44.2m)  | 118             | 135     | 118           | 207     | 13,000                                   | 26,000                                 | 120' (36.6m)                     |
| 7           | 167.2' (50.9m)  | 138             | 156     | 138           | 242     | 15,200                                   | 30,400                                 | 142' (43.3m)                     |

Fuente. URBANAUT® MONORAIL TRAIN - PASSENGER CAPACITIES

### COMPARACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE MASIVO

| Característica                      | Tranvía-LRT  | Metro         | TMB-BRT       |
|-------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Capacidad (Pasajeros/ vehículo)     | 110-250      | 140-280       | 80-160        |
| Vehiculos/unidad                    | 1-4          | 1-10          | 1             |
| Velocidad máxima (km/h)             | 60-80        | 70-100        | 60-70         |
| Velocidad comercial (km/h)          | 15-35        | 25-55         | 15-30         |
| Frecuencia máxima (unidades/h)      | 40           | 20-40         | 70-210        |
| Capacidad (pasajeros/h/sentido)     | 6.000-20.000 | 10.000-72.000 | 11.000-40.000 |
| Costos de inversión (Millones €/km) | 15-50        | 30-200        | 1-10          |

FUENTE: Datos y valoración de Steer Davies Gleave.

## GENERALES.

1. Según los resultados anteriormente obtenidos, se concluye que los monorrieles de tipo elevado, son sistemas sustentables para la movilidad, en el desarrollo de este trabajo se enfocó principalmente como un modo de transporte de pasajeros para descongestión actual de la avenida Boyacá, integrando los demás modos de transporte existentes como buses del SITP, Bicitaxis y buses convencionales a lo largo de este eje vial.
2. La operación de podrían tener estos sistemas de transporte elevado seria de un 100% más eficiente que los sistemas de transporte a nivel, debido a no se encuentran condicionados a trancones vehiculares, semáforos, cruces y accidentes a los que se ven enfrentados los sistemas convencionales transporte diariamente.
3. La infraestructura de estos sistemas de monorriel no es propensa a ser abusada gracias a su diseño elevado, impide el ingreso de colados al sistema, a diferencia como ocurre en el sistema transmilenio.
4. Según experiencias del Ingeniero Fernando Rey especialista en temas relacionados con sistemas ferroviarios, estos sistemas de monorriel poseen una vida útil de operación de aproximadamente 30 años, en ese momento el sistema se verá obligado a migrar a otro modo complementario que cumpla la misma ruta y capacidad para brindar el servicio de transporte de pasajeros.
5. La ventaja que tienen estos sistemas para optimizar el espacio ó área libre que se encuentra por debajo de la estructura del monorriel es factible para la circulación o tránsito de otros modos de transporte por ejemplo la implementación de sistemas de ciclorutas.
6. Los porcentajes de costos estimados para la construcción por kilómetro de línea de monorriel de tipo elevado bidireccional se contemplan de la siguiente manera:
  - Vigas guía elevadas, fundaciones y obra civil. Con un porcentaje del 41.8%
  - Instalaciones de carga y descarga (estaciones). Con un porcentaje del 8.5%
  - Mantenimiento de la línea y control operativo. Con un porcentaje del 7.2%

- Energía eléctrica, señalización y otros servicios. Con un porcentaje del 7.2%.
- Material rodante (vehículos). Con un porcentaje del 26.8%
- Imprevistos y comisiones. Con un porcentaje del 8.5%

Según lo anterior el Capex por kilometro construido de línea de monorriel es aproximadamente del **57.5%**

$$\textbf{CAPEX: } 41.8\% + 8.5\% + 7.2\%$$

Y el Opex incluido por Kilometro construido de línea de monorriel es aproximadamente del **42.5%**

$$\textbf{OPEX: } 7.2\% + 26.8\% + 8.5\%$$



## **RECOMENDACIONES.**

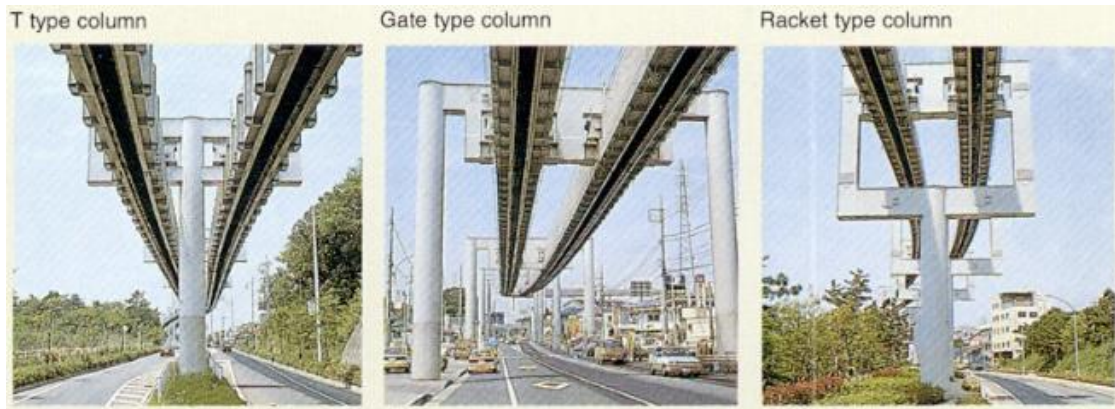
Para realizar un estudio de prefactibilidad de cualquier tipo de proyecto, se necesita profundizar en todos los tópicos relacionados al mismo, en este caso quedaron temas importantes a profundizar para soportar la viabilidad de los sistemas elevados de transporte público con un mayor nivel de detalle:

1. Implementación de modos de transporte intermodal para recorridos cortos entre zonas urbanas.
- 2.Cuál es la metodología aplicada para determinar la viabilidad de un sistema masivo de transporte público frente a otros sistemas.
3. Rediseño tanto estructural como arquitectónico para la implementación de sistemas elevado de transporte público, con el objetivo de mitigar el impacto visual que pueden generar estos sistemas de transporte.
4. Cuáles son los partidas presupuestales que se tienen en cuenta para la construcción por kilómetro de un determinado sistema de transporte público.
5. Optimización del espacio urbano para la implementación de sistemas elevados de transporte público, ejemplo las canales de aguas lluvia.
6. Parámetros para la implementación de proyectos de infraestructura con certificación LEED.
7. La reubicación y diseño de las ciclorutas de Bogotá.
8. Programación y ejecución, de procesos constructivos para el desarrollo de obras de infraestructura para sistemas elevados de transporte público.
9. Diseños geométricos de vías para la optimización del transporte público.

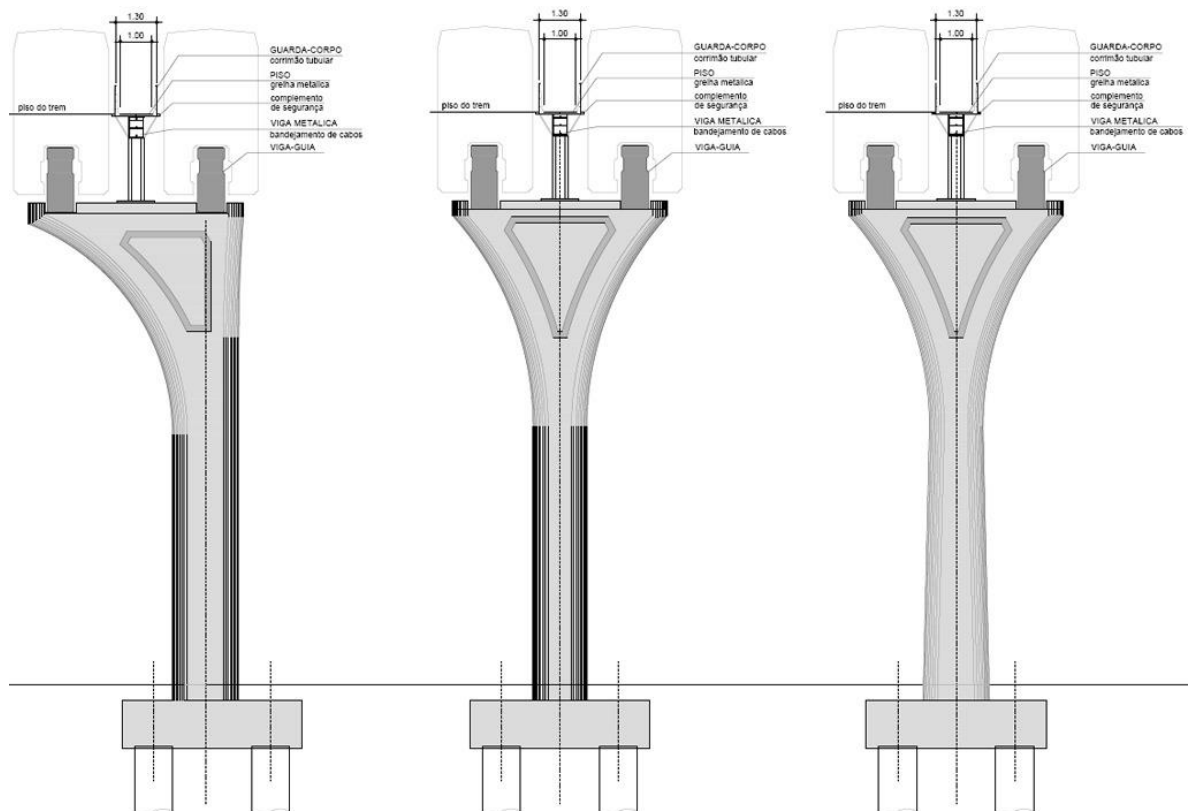
Entre los temas más importantes para analizar en futuros trabajos de investigación.

## 11. ANEXOS.

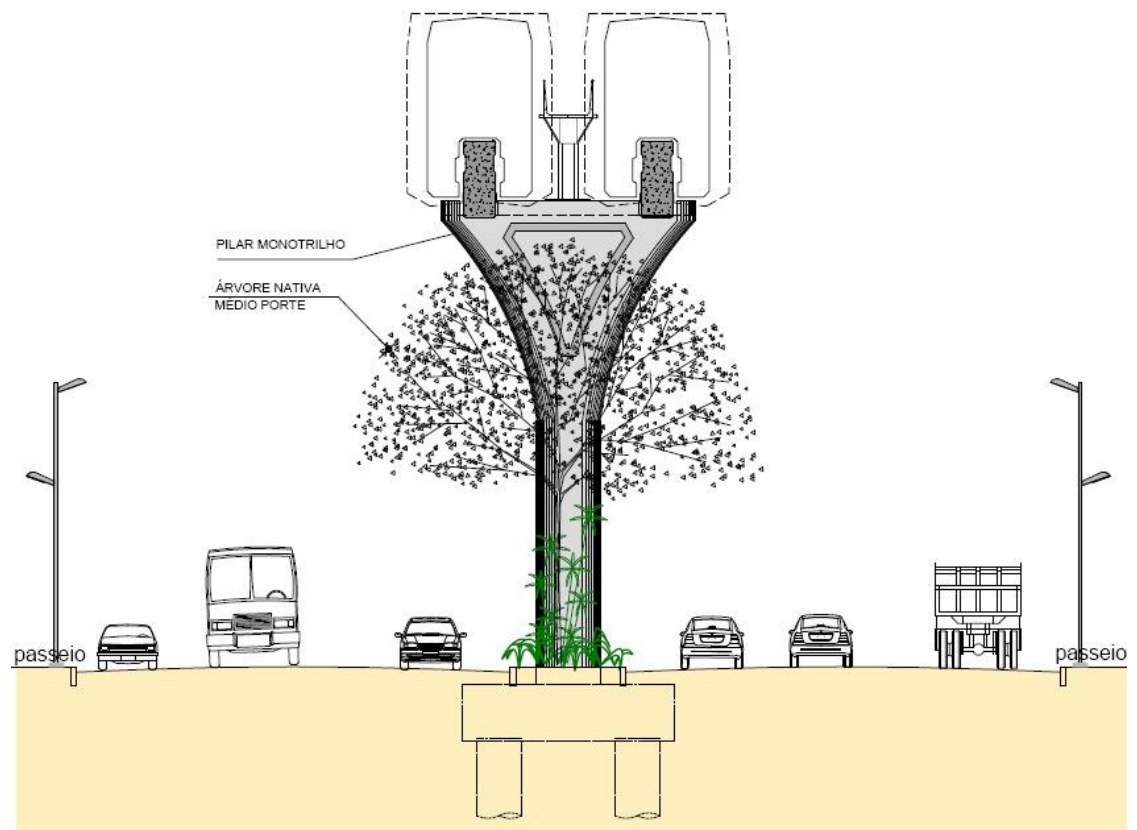
Tipología de pórticos y pilares, de los sistemas elevados de transporte público.



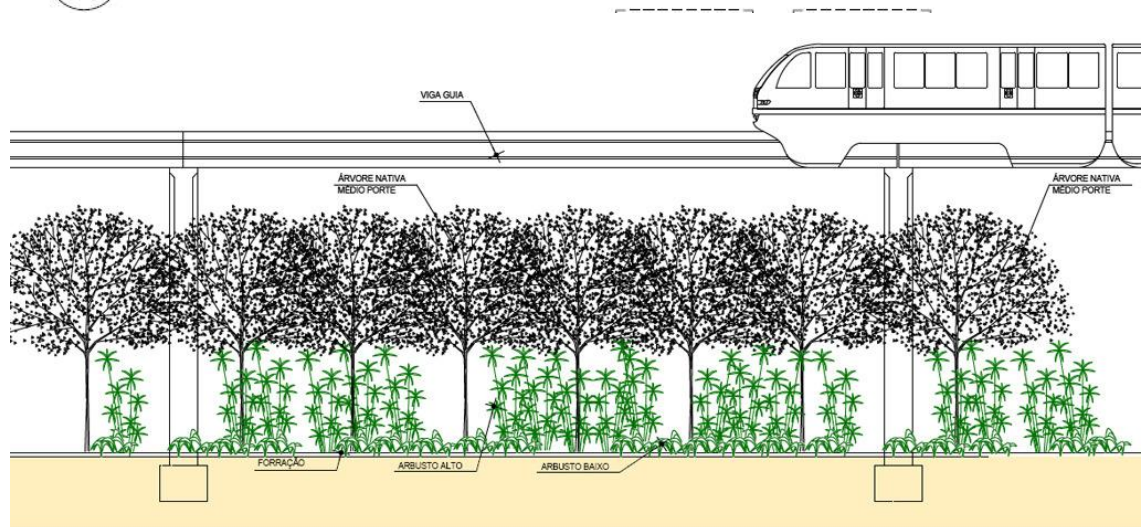
Fuente. Chiba Monorail



Fuente. skyscrapercity. June 30th, 2012,

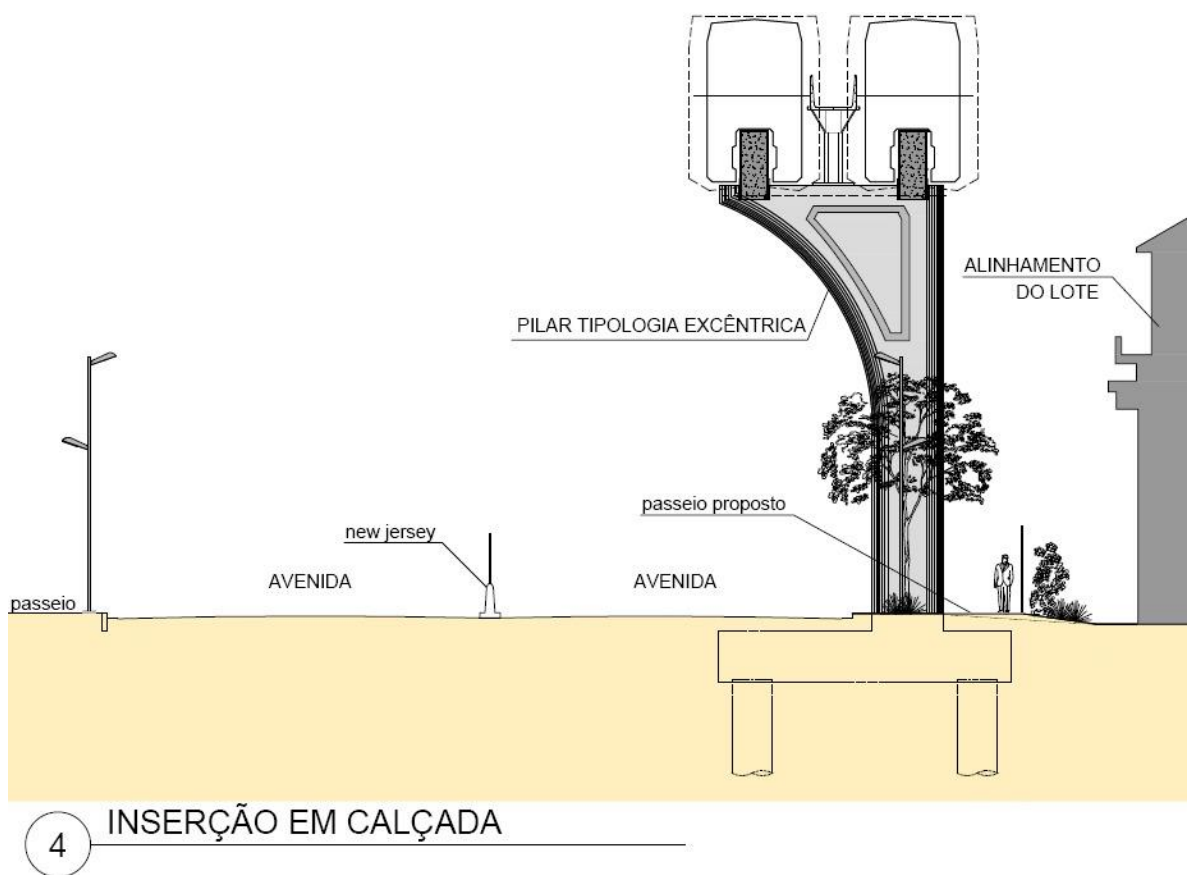
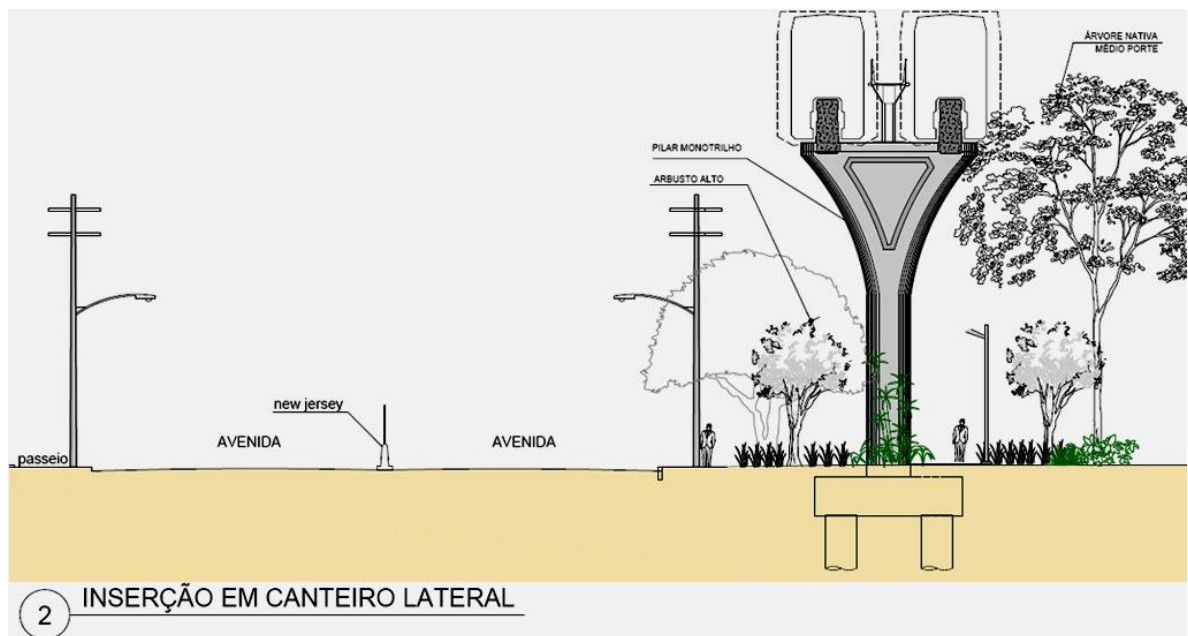


1 INSERÇÃO EM CANTEIRO CENTRAL MÍNIMO



1 CORTE TRANSVERSAL

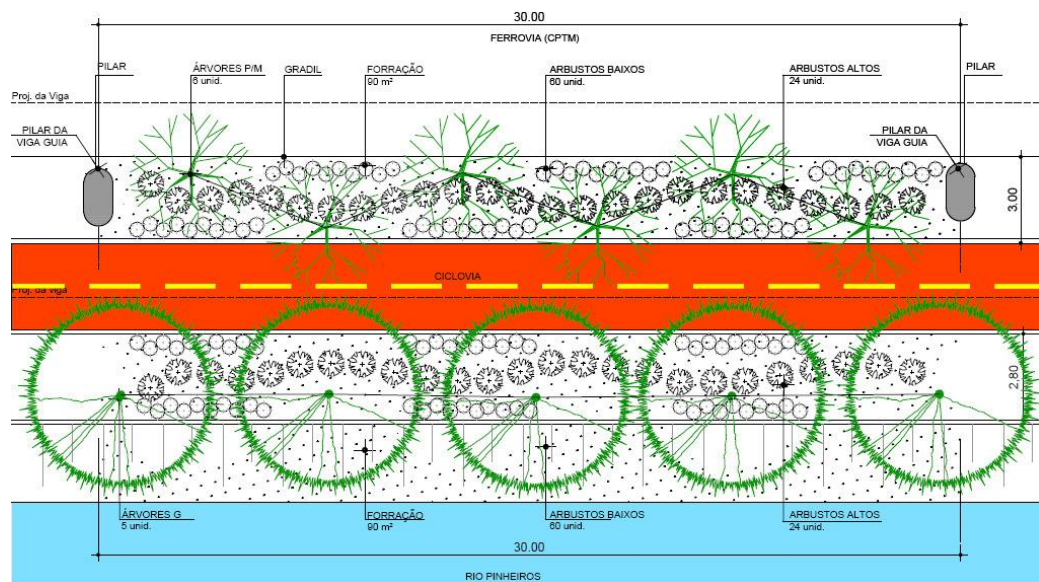
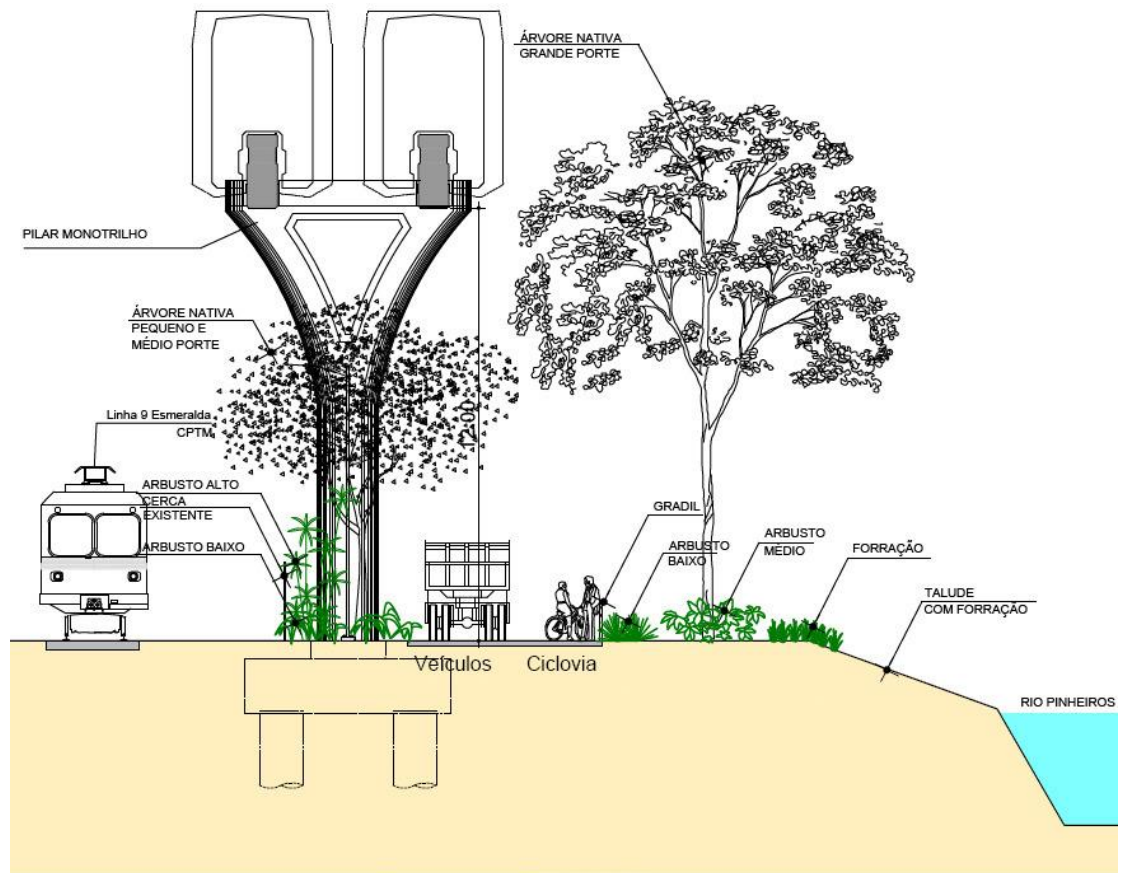
Fuente. skyscrapercity. June 30th, 2012,



Fuente. skyscrapercity. June 30th, 2012,



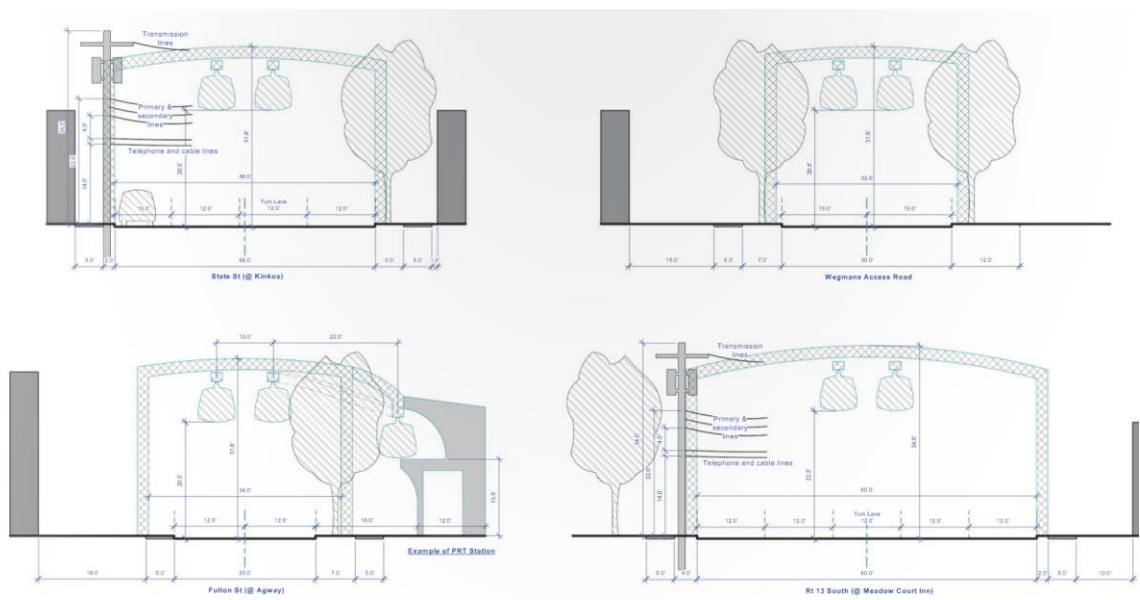




3 PLANTA - CICLOVIA

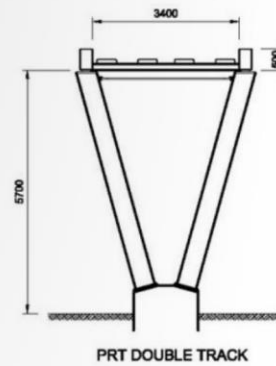
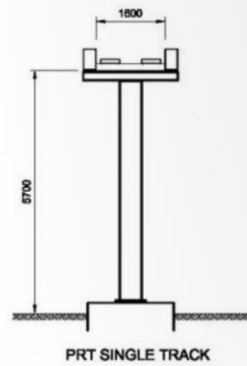
Fuente. skyscrapercity. June 30th, 2012,

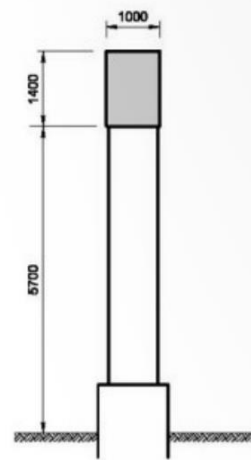




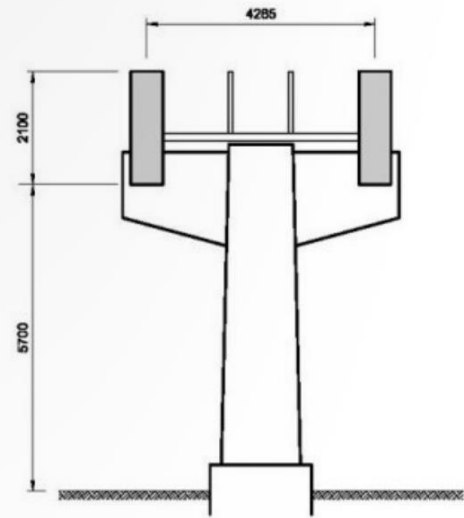
### Scale Comparison of Rail-based Guide-way (in millimeters):

The PRT structure depicted is the ATS Ltd ULTra system as developed for its test site in Cardiff. Comparison is made with the Las Vegas monorail, the Sydney monorail, and the Kuala Lumpur LRT. (from: ASCE APM05 Special Sessions on PRT, Infrastructure Cost Comparisons for PRT and APM)

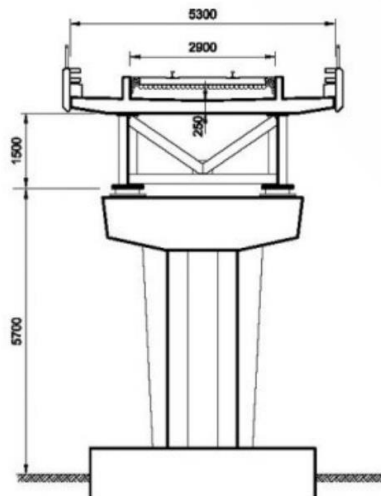




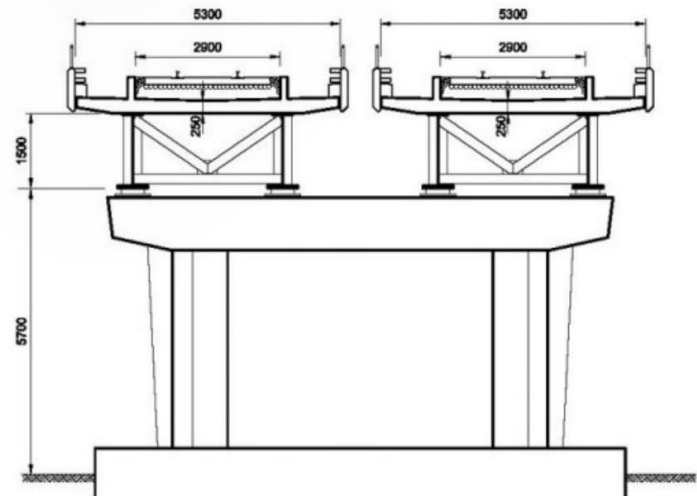
MONORAIL SINGLE TRACK



MONORAIL DOUBLE TRACK



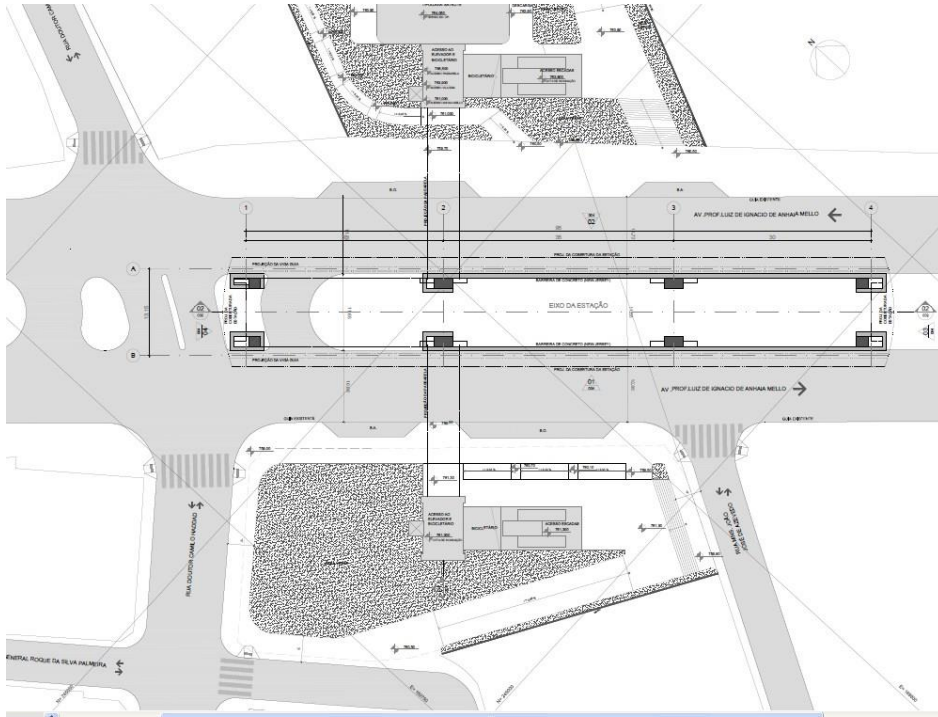
LRT SINGLE TRACK



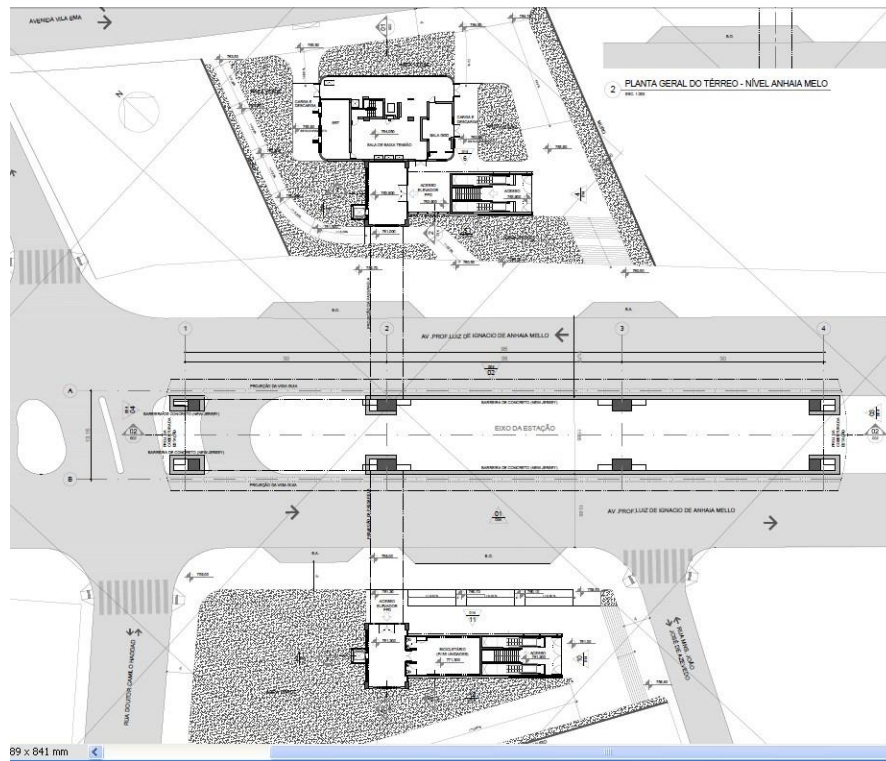
LRT DOUBLE TRACK

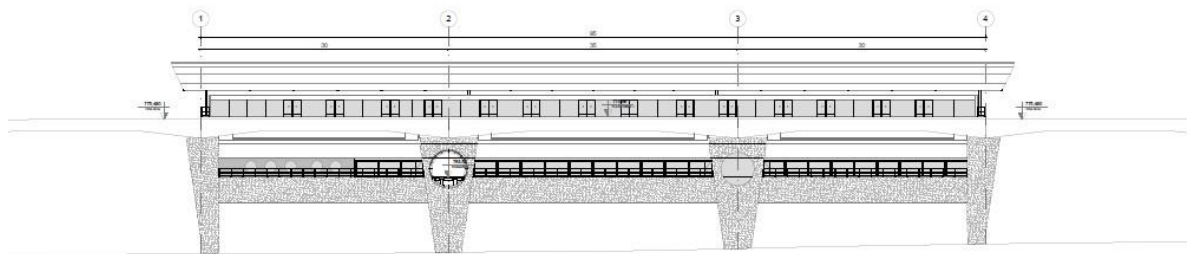
<http://360radio.com.co/plan-desarrollo-medellin-tranvia-la-80/>

## Planos Arquitecronicos de una estacion de Monorriel elevado.

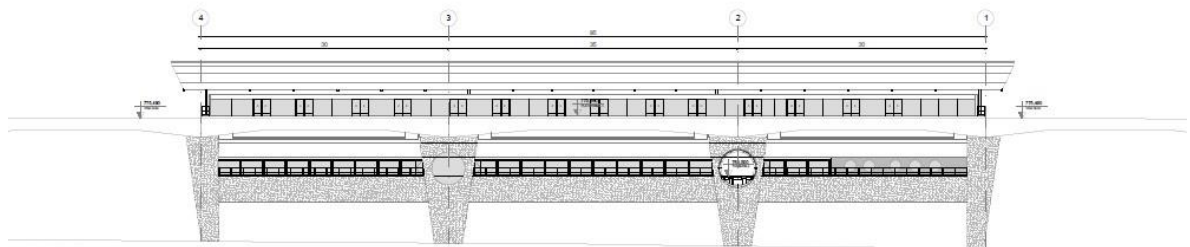


Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>



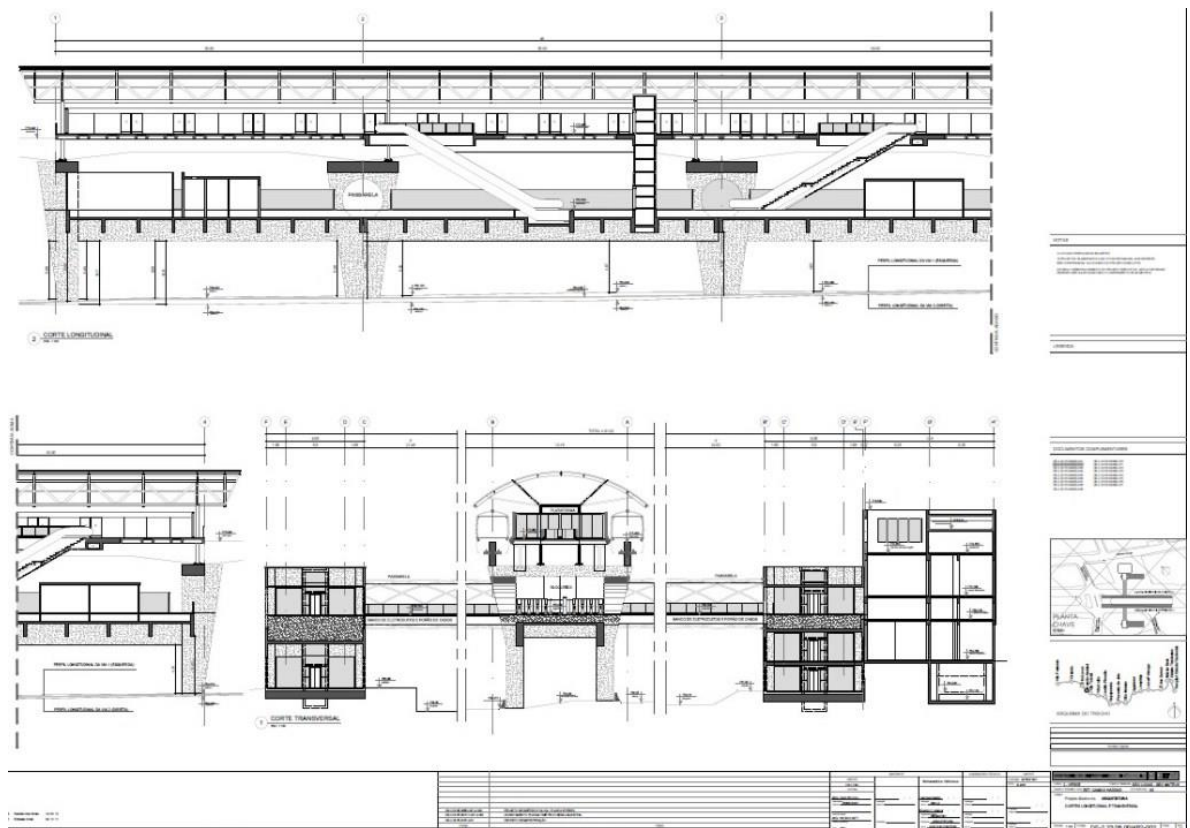


1 ELEVACÃO  
FAC. 1/200

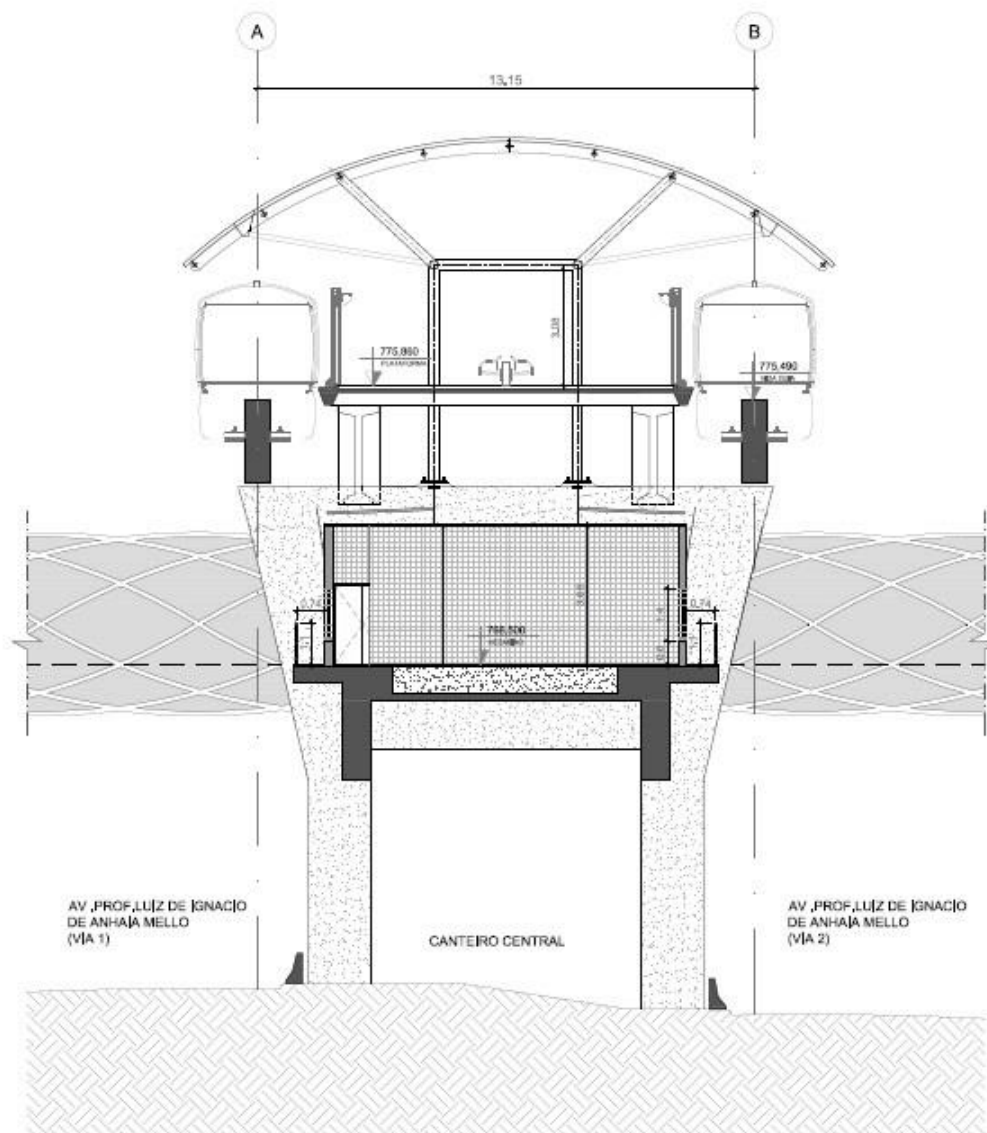


2 ELEVACÃO  
FAC. 1/200

Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>

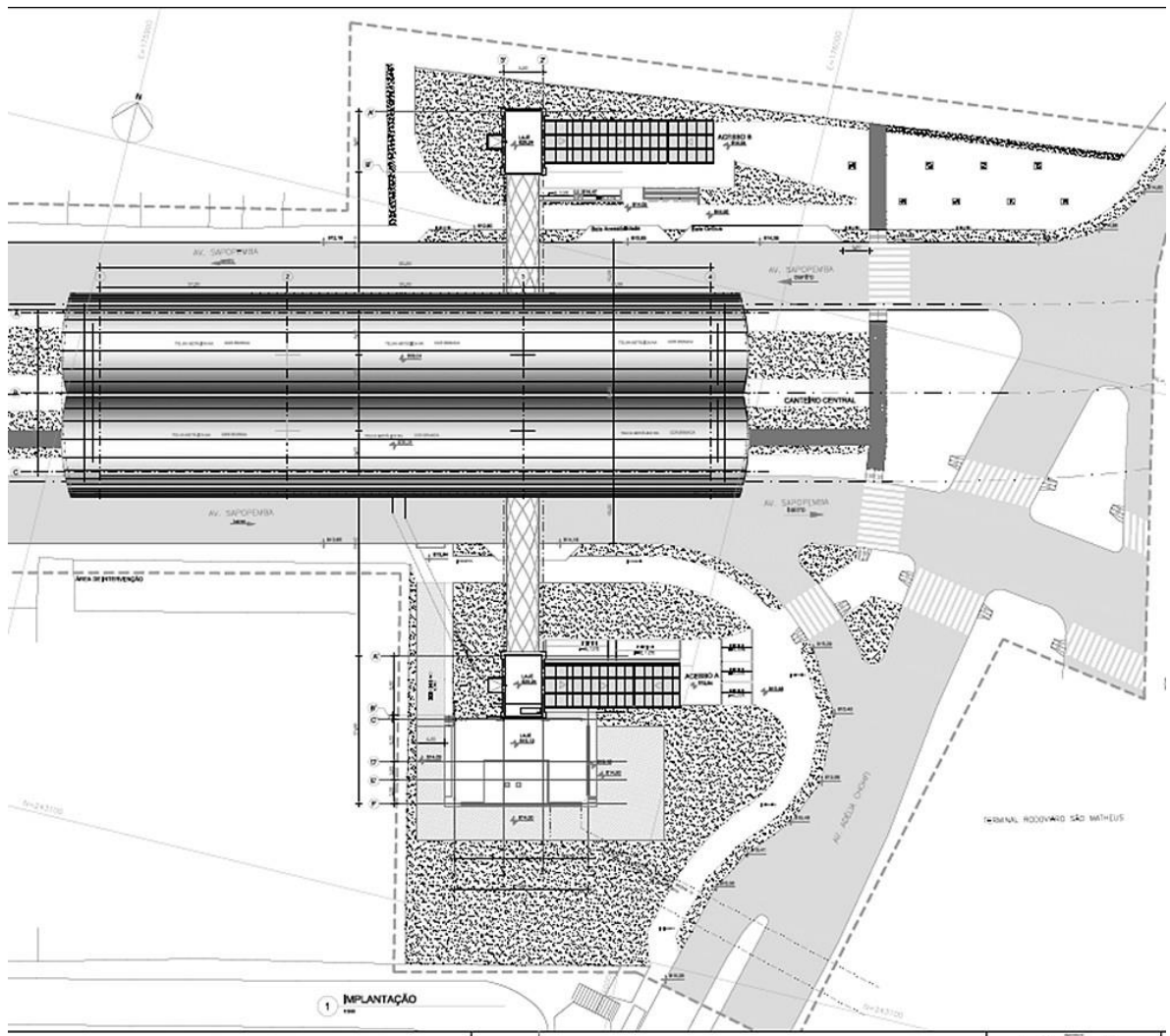


Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>



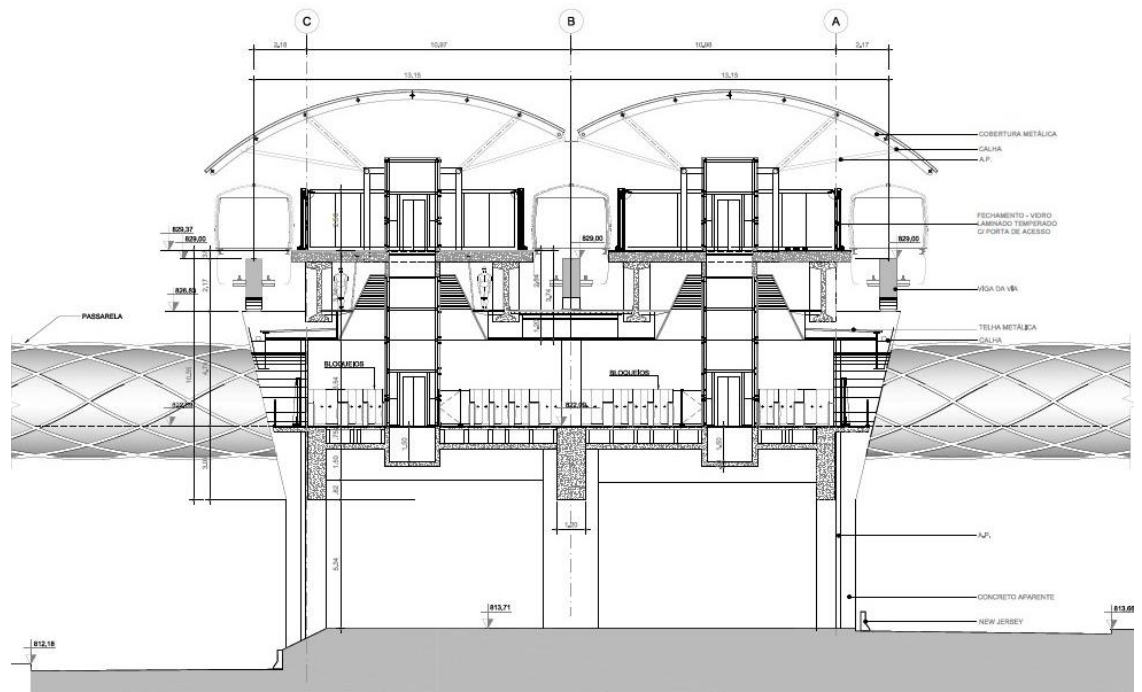
6 CORTE  
ESC. 1:100

Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>



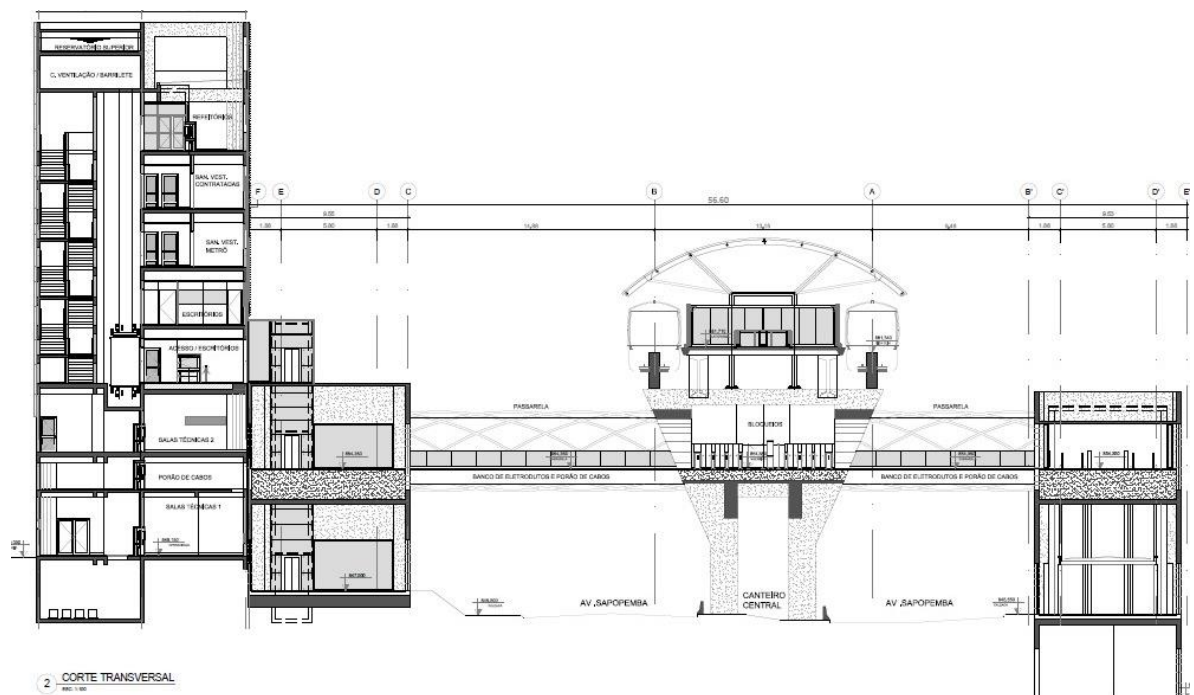
Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>





2 CORTE TRANSVERSAL

Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>



2 CORTE TRANSVERSAL

Fuente. <http://www.metro.sp.gov.br/>

## 12. BIBLIOGRAFÍA.

- CAL Y MAYOR. Rafael; CARDENAS. James, Ingeniería de tránsito – Fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega, 1994. p. 4.
- Wuppertal Monorail. Technical Specifications. Wuppertal. Disponible en:  
<<http://www.schwebbahn.de/2/history-technology/facts-and-figures/>>
- ALWEG - Bombardier Innovia Monorail 300. "DIMENSIONS AND WEIGHT". Disponible en:  
<<http://www.monorails.org/tMspages/TPInnovia300.html>>
- Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.
- Néstor Y. Rojas. Aire y problemas ambientales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. En: [oab.ambientebogota.gov.co](http://oab.ambientebogota.gov.co)
- Blu Radio. Buses de TransMilenio emiten 70 % de contaminación donde operan, según estudio. Bogotá. 23 Abril de 2015. Disponible: <<http://www.bluradio.com/97161/buses-de-transmilenio-emiten-70-de-contaminacion-donde-operan-segun-estudio>>
- Definición ABC. "Mantenimiento Correctivo" Disponible en :  
<http://www.definicionabc.com/tecnologia/mantenimiento-correctivo.php>
- El tiempo. Reparar losas de Transmilenio por la Caracas y Auto norte cuesta un billón de pesos. Bogotá. 17 Septiembre de 2015. Disponible en:  
<<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/reparar-losas-de-transmilenio-caracas-y-autonorte-cuest-articulo-586943>>
- EL TIEMPO. Petro dejará abierta licitación para TransMilenio por la Boyacá, (11 Septiembre de 2015). [Online]. [citado 10 Julio 2016] Disponible: <  
<http://www.eltiempo.com/bogota/transmilenio-por-la-boyaca/16368957>>
- EL TIEMPO. Construir vías cuesta un ojo de la cara, (02 Marzo de 2013). [Online]. [citado 10 Julio 2016] Disponible: <  
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12631375>>
- Publictransit.us. Monorails In Japon: An Overview, Japon, (Junio 22 de 2015). P.26 a 52.
- Blog Europe 1900. Wuppertal Schwebbahn. 2013. [Online] [citado 10 Julio16]. Disponible:  
<<http://europe1900.blogspot.com.co/2013/01/wuppertal-schwebbahn.html>>
- FOLHA DE S.PAULO. [Online]. Disponible:  
<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/08/1508434-primeiro-monotrilho-do-pais-sera-inaugurado-hoje-em-sao-paulo.shtml>>

- CAL Y MAYOR. Rafael; CARDENAS. James, Ingeniería de tránsito – Fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega, 1994. p. 4.
- CAL Y MAYOR. Rafael; CARDENAS. James, Ingeniería de tránsito – Fundamentos y aplicaciones. Mexico: Alfaomega, 1994. p. 6.
- CARMAGO TRIANA, William. Destino capital movilidad Sostenible. Bogotá D.C, Secretaria distrital de planeación, 2009. p. 14-15.
- SALDARRIAGA, Roa Alberto. “Bogotá, siglo XX. Urbanismo, arquitectura y vida urbana”. DAPD. Bogotá, 2000.
- Sert, Wiener, Las huellas del plan para Bogotá de le Corbusier, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona, Agosto 2006.
- Discovery tu mundo. Monorrieles colgantes en Japón, trenes suspendidos en el aire. [Online]. [citado 07 Febrero 2016] Disponible en: <<http://discoverytumundo.blogspot.com.co/2015/01/increibles-monorrieles-colgantes-en.html>>
- Japan Monorail Association Guide: “Types of Monorail Systems”. Japón. 2005. p. 05
- <sup>1</sup> Mitsubishi, Haavy industries LTD [Online]. Monorail. [citado 07 Febrero 2016] Disponible:<<https://www.mhi-global.com/products/category/monorail.html>>
- Monorriel Shonan. [Online]. [citado 07 Febrero 2016] Disponible en: <<http://www.japaneserailwaysociety.com/hiroshi/eno/shonan.htm>>
- Revista. Monorails In Japan: An Overview: “Special Report No. 09”. Japón. Junio 22 de 2005. p. 6.
- Monorriel Wuppertal. [Online]. Disponible en: <http://www.schwebebahn.de/geschichte-technik/geschichte/>.
- International Railway Journal y Railway Gazette [Online]. Disponible en: <http://www.trenvista.net/noticias/europa/alemania/el-monorrail-colgante-de-wuppertal-recibe-sus-coches-vossloh/>
- Schwebebahn in Wuppertal. [Online]. Disponible en: < <http://www.schwebebahn.de/geschichte-technik/fahrzeuge/>>
- EL ABC (2012, 12 de Abril)” Constructora del monorriel eléctrico de Sao Paulo recibe importante premio”.
- Ortuzar, Juan de Dios. Modelos de demanda de transporte. Colombia-Bogotá: Alfaomega, 2015. p. 11.
- Ortuzar, Juan de Dios. Modelos de demanda de transporte. Colombia-Bogotá: Alfaomega, 2015. p. 12.
- Capital. Peru. Las 10 ciudades con más tráfico en el mundo. 01 Octubre 2015.

- Boletín No.22.Alacaldia mayor de Bogotá secretaria distrital de planeación. Densidades Urbanas: El caso de Bogotá. 2010. P.13.
- Banco de desarrollo de América Latina. Desarrollo urbano y movilidad en América Latina, PANAMA: Norma.2011. p. 140
- Calvo, Leonardo. (2009, Junio). “Soluciones de Movilidad en Bogotá”, en Revista Anales de Ingeniería, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Año 2009, No. 910, 2009. P. 13.
- Bejarano G, Sánchez S, Vargas M .Movilidad Bogotá 2011-2 Universidad de los Andes. 2012. P.5
- Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad-Reporte anual de movilidad 2014 No.8. (Octubre de 2015), p.11.
- Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.
- Transmilenio, Historia [Online]. [citado 19 Enero 2016] Disponible: <<https://www.transmilenio.gov.co/es/articulos/historia>>
- Cámara de Comercio de Bogotá. Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones de calidad y servicio a los usuarios de Transmilenio, SITP y TCP. Bogotá. 2014. P.10.
- Ministerio de transporte. Servicio público de servicio terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos Taxi. Decreto número 172 de 2001. P.2.
- Bogotá como vamos. La problemática de los taxis en el distrito capital, [Online]. [citado 10 Febrero 2016], Disponible en: <<http://www.bogotacomovamos.org/blog/la-problematika-de-los-taxis-en-el-distrito-capital/>>
- EL TIEMPO. Conozca Uber, la aplicación móvil para solicitar taxis VIP (30 Octubre de 2013). [Online]. [citado 19 Enero 2016] Disponible: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13151160>
- Caracol Radio. Bicitaxis en Bogotá buscan legalizarse para prestar el servicio. (22 de Febrero 2016) [Online]. Disponible: <[http://caracol.com.co/emisora/2016/02/22/bogota/1456172171\\_508196.html](http://caracol.com.co/emisora/2016/02/22/bogota/1456172171_508196.html)>
- Cama de comercio de Bogotá, Resultados encuesta de percepción sobre las condiciones calidad y servicio a los usuarios del transporte de Transmilenio, SITP y TPC. 2014. P.6.
- EL TIEMPO. La avenida Boyacá es el corredor vial más largo y peligroso de Bogotá (14 Agosto de 2009). [Online]. [citado 21 junio 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5063269>>
- Semana. Bogotá: la ciudad más peligrosa para mujeres que usan el transporte público. (20 marzo 2016). [Online] [citado el 26 Junio 2016] Disponible: <<http://www.semana.com/nacion/articulo/bogota-la-ciudad-mas-peligrosa-para-las-mujeres-que-usan-transporte-publico/466220>>

- El Tiempo. Cada día se roban tres bicicletas en Bogotá. (29 Marzo 2016). [Online]. [citado el 26 Junio 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/robo-de-bicicletas-en-bogota/16549550>>
- La Republica. Trafico de la Avenida Boyacá sufre con cada apertura comercial que hacen. (27 Octubre 2014). [Online]. [citado 25 junio 2016] Disponible: <[http://www.larepublica.co/tr%C3%A1fico-de-la-avenida-boyac%C3%A1-sufre-con-cada-apertura-comercial-que-hacen\\_184996](http://www.larepublica.co/tr%C3%A1fico-de-la-avenida-boyac%C3%A1-sufre-con-cada-apertura-comercial-que-hacen_184996)>
- Dinero. Acupuntura Urbana. (19 Marzo de 2014). [Online]. Citado 25 Junio 2016]. Disponible: <<http://www.dinero.com/edicion-impresia/negocios/articulo/megaproyecto-urbanistico-bavaria-metrovivienda/193553>>
- El Espectador. La Felicidad esta en Bogotá. (09 Junio de 2009). [Online]. Citado 25 Junio 2016]. Disponible: <http://www.elespectador.com/impreso/negocios/articuloimpreso148155-felicidad-esta-bogota>.
- El TIEMPO. Los habitantes de Bogotá pasan 21 días al año en trancones. (24 Enero de 2016). [Online]. Citado 10 Marzo 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/bogota-un-bogotano-pasa-21-dias-al-ano-en-trancones/16490105>>
- EL TIEMPO. Uso de la moto en Bogotá se duplico en 4 años. (19 Diciembre de 2015). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/motos-en-bogota-uso-se-duplico-en-4-anos/16462851>>
- El ESPECTADOR. 500.000 motos se movilizarían en Bogotá para el 2017. (03 Enero 2015). [Online]. [Citado 12 Marzo de 2016]. Disponible: <<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/500000-motos-se-movilizarian-bogota-2017-articulo-536085>>
- Publimetro. Motos ¿Un problema para la movilidad en Bogotá? (06 Enero 2016). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible: <<http://www.publimetro.co/bogota/motos-un-problema-para-la-movilidad-en-bogota/lmkoed!NIDxmJIESORFo/>>
- El Espectador. Las motos, principal causa de la elevada contaminación atmosférica en Vietnam. (09 Diciembre 2015). [Online]. [citado 20 Febrero 2016] Disponible: <<http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/motos-principal-causa-de-elevada-contaminacion-atmosfer-articulo-604526>>
- YOUTUBE, Sin autor, (2014). ATASCO DE MOTOS EN VIETNAM. [Video Online]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=cBttY89Di-c>
- El Espectador. En Bogotá analizan posibilidad de implementar peajes y pico y placa para motos. (05 Noviembre 2014). [Online]. [citado 06 marzo 2016] Disponible: <<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/bogota-analizan-posibilidad-de-implementar-peajes-y-pic-articulo-525905>>
- CCB, Observatorio de movilidad. Reporte anual de movilidad 2014, Octubre de 2015, No. 8. P. 23.
- Secretaria distrital de movilidad, Análisis accidentalidad con bicicletas en la ciudad de Bogotá para los años 2007 a 2012. Bogotá. 2014. P. 23.

- El Tiempo. Bicicletas motorizadas, polémica sin regulación. (30 Mayo 2016). [Online]. [Citado 26 Junio 2016]. Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/bicicletas-motorizadas-no-tienen-regulacion/16606713>>
- El Tiempo. Si no hay arreglo en Soacha, empresas de buses irían a paro. (02 Mayo 2016). [Online]. [Citado 26 Junio 2016]. Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/cambios-en-las-rutas-de-buses-en-soacha/16580556>>
- Camara de comercio de Bogotá. ¿Cómo mejorar la movilidad de los Bogotanos?. Bogotá D.C. Septiembre de 2015. p. 74.
- Terra Colombia. Los puntos más riesgosos para los peatones en Bogotá. (Agosto 2015). [Online]. Disponible <<http://noticias.terra.com.co/colombia/los-puntos-mas-riesgosos-para-peatones-en-bogota-vias-cifras,5c3a0c640fb9bd6cbdb9797da649407c2b9zRCRD.html>>
- Malaver. Carol. EL TIEMPO. “Un peatón imprudente tiene a mi hijo en silla de ruedas”. (08 Marzo de 2016) [Online] Disponible: <<http://www.eltiempo.com/bogota/cifra-de-infracciones-y-comparendos-para-peatones-imprudentes-en-colombia/16530789>>