

**LÍNEA ELEVADA DE METRO LIGERO COMO PROPUESTA QUE PERMITA
DISMINUIR EL NIVEL DE TRÁFICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA**

**CHRISTIAN CAMILO BARAJAS TORRES
CAMILA ANDREA FLÓREZ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**LÍNEA ELEVADA DE METRO LIGERO COMO PROPUESTA QUE PERMITA
DISMINUIR EL NIVEL DE TRÁFICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA**

**CHRISTIAN CAMILO BARAJAS TORRES
CAMILA ANDREA FLÓREZ GONZÁLEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director
HERNÁN PORRAS DÍAZ
Ingeniero Civil, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres por el apoyo y la confianza para alcanzar esta meta, a la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Ingeniería Civil y en especial al grupo de investigación GEOMATICA, por facilitarnos las herramientas tecnológicas necesarias para la elaboración de este proyecto.

CHRISTIAN CAMILO BARAJAS TORRES
CAMILA ANDREA FLÓREZ GONZÁLEZ

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. TRANSPORTE MASIVO	14
1.1. HISTORIA DEL FERROCARRIL.....	18
1.1.1 Transporte de tránsito rápido o independiente.....	21
1.1.2 Transporte ferroviario ligero	22
1.1.3 Transporte ferroviario pesado	23
1.1.4 Otros tipos de transporte ferroviario.....	24
1.2. ALTERNATIVAS ACTUALES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO (STM).....	24
1.2.1 Sistema de autobús de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT).....	26
1.2.2 Sistema de trenes totalmente segregados (Metros Pesados)	27
1.2.3 Sistema de trenes a nivel o parcialmente segregados (Metros Ligeros) (Light Rail Transit, LRT).....	28
1.3 OFERTAS TECNOLÓGICAS.....	30
1.3.1 Alternativa 1	30
1.3.2 Alternativa 2.....	31
1.3.3 Alternativa 3.....	32
1.3.4 Análisis de alternativas	33
2 DEFINICIÓN DE LA RUTA.....	33
2.1 TRAFICO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.....	34
2.1.1 Demanda de tráfico	35
2.2 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO CON EL ACTUAL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO EN TransCad.....	35
2.2.1 Modelo de asignación de tráfico	36

2.2.2	Análisis de resultados	37
2.3	DESCRIPCIÓN DE LA RUTA SELECCIONADA	39
3	ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE ÁREAS PARA DIMENSIONAR LAS ESTACIONES TIPO ACORDE A LA RUTA SELECCIONADA.....	45
3.1	CONCEPTO DE ESTACIÓN.....	45
3.1.1	Requerimientos de una estación	46
3.2	DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES.....	47
3.2.1	Demanda de pasajeros.....	47
3.2.2	Elementos de una estación.....	48
3.2.2.1	Accesos	49
3.2.2.2	Pasillos	51
3.2.2.3	Escaleras	53
3.2.2.4	Elevadores.....	55
3.2.2.5	Taquillas	56
3.2.2.6	Vestíbulo de espera.....	57
3.3	TIPOS DE ESTACIONES	58
3.3.1	Estaciones laterales.....	59
3.3.2	Estaciones centrales.....	62
4	NUEVO ESCENARIO DE MOVILIDAD EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	65
4.1	INDICADORES DEL TRÁFICO.....	66
4.2	GRADO DE EFECTIVIDAD	66
5	CONCLUSIONES.....	67
	REFERENCIAS	69
	BIBLIOGRAFIA.....	71
	ANEXOS.....	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metrolinea, Estación Cañaveral.	27
Figura 2. Metro Santiago de Chile.	28
Figura 3. Metro ligero-Tranvía en Milán. (Segregación a nivel)	29
Figura 4. Metro ligero- Monorriel en Las Vegas (segregación vertical).....	30
Figura 5. Monorriel Dortmund.	31
Figura 6. Monorriel Wuppertal.....	32
Figura 7. Monorriel Las Vegas.	33
Figura 8. Resultado TransCad, volumen vehicular de tráfico en el año 2015.	38
Figura 9. Esquema conceptual de ruta seleccionada.	40
Figura 10. Esquema de ubicación de las paradas en la ruta seleccionada.	44
Figura 11. Áreas de cobertura para estaciones de acceso sencillo A1 o acceso doble A2.....	49
Figura 12. Áreas de cobertura de estaciones tipo laterales y centrales.....	51
Figura 13. Ubicación de escaleras en andenes laterales y centrales.	54
Figura 14. Dimensionamiento de vestibulos de espera	58
Figura 15. Ubicación de estaciones laterales	59
Figura 16. Estaciones laterales, vista lateral.....	61
Figura 17. Estación lateral, vista frontal.	61
Figura 18. Estaciones laterales, vista completa.....	61
Figura 19. Ubicación de estaciones centrales.	62
Figura 20. Estaciones centrales, vista lateral.....	64
Figura 21. Estación central, vista superior.	64
Figura 22. Estación central, vista completa.	64

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Pendientes por tramo de ruta entre estaciones.	42
Tabla 2. Número de personas horas pico.	48
Tabla 3. Niveles de servicio para tránsito peatonal.....	52
Tabla 4. Dimensiones minimas de elevadores Mitsubishi, caso de referencia P8- CO	56
Tabla 5. Áreas estaciones laterales.	60
Tabla 6. Áreas estaciones centrales.	63
Tabla 7. Grado de efectividad VHT y VDT.	66

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2015.	72
ANEXO B. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2020.	73
ANEXO C. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2025.	74
ANEXO D. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2030.	75
ANEXO E. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2020.	76
ANEXO F. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2025.	77
ANEXO G. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2030.	78

RESUMEN

TÍTULO: LÍNEA ELEVADA DE METRO LIGERO COMO PROPUESTA QUE PERMITA DISMINUIR EL NIVEL DE TRÁFICO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA ¹

AUTORES: CHRISTIAN CAMILO BARAJAS TORRES **
CAMILA ANDREA FLÓREZ GONZÁLEZ

PALABRAS CLAVES: Trafico, TransCad, Movilidad, Área Metropolitana, Corredor vial, Metro ligero elevado.

DESCRIPCIÓN:

El incremento excesivo del parque automotor genera serios problemas como la congestión vehicular y daños ambientales, a esa actual situación se suma un sistema integrado de transporte masivo el cual no opera correctamente de acuerdo a las necesidades de los usuarios lo que ha generado una mayor congestión vehicular, lo cual resta calidad de vida a los habitantes del área metropolitana.

La implementación de una línea elevada de metro ligero en el área metropolitana de Bucaramanga busca tener una incidencia directa en el tráfico vehicular privado buscando que la segregación vertical de este nuevo sistema permita mejorar la movilidad de los vehículos particulares al otorgarles una mayor capacidad vehicular de los carriles por los cuales se desea implementar el nuevo sistema.

Este proyecto cuenta con dos escenarios con los cuales se pretende demostrar la viabilidad, o no, de un sistema de metro ligero elevado como solución al tráfico vehicular en Bucaramanga, el primer escenario busca modelar la situación actual con el software TransCad para determinar cuál es el tramo vial más crítico en cuanto a congestión vehicular del área metropolitana en el cual se implementará la línea elevada de metro ligero y un segundo escenario en el cual se asignará un nuevo modelo de movilidad en el Área metropolitana de Bucaramanga buscando conocer en qué grado de efectividad el nuevo sistema afectaría la movilidad en un futuro a quince años, evaluando los escenarios en los años 2020, 2025 y 2030.

¹ Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz, PhD.

ABSTRACT

TITLE: METRO LINE OF LIGHT AS HIGH PROPOSAL THAT ALLOWS REDUCING THE LEVEL OF TRAFFIC ON THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA *

AUTHORS: CHRISTIAN CAMILO BARAJAS TORRES **
CAMILA ANDREA FLÓREZ GONZÁLEZ

KEYWORDS: Traffic, TransCAD, Mobility Metropolitan Area, Road Corridor, Elevated Light Subway.

DESCRIPTION:

The excessive increase of the fleet size creates serious problems such as traffic jams and environmental damage. Likewise, there is an integrated mass transit system which does not operate correctly and in agreement with the user's needs, which has increased traffic jams even more, reducing the quality of life of the inhabitants of the metropolitan area.

The implementation of an elevated line of a light subway in the metropolitan area of Bucaramanga aims to have a direct impact on private vehicle traffic, in which the vertical segregation of this new system will improve the mobility of private vehicles by giving them a greater vehicular capacity of the lanes.

This project has two scenarios which aim to demonstrate the viability, or not, of an elevated light subway system raised as a solution for the vehicle traffic in Bucaramanga. The first stage seeks to model the current situation using the TransCAD software in order to determine the most critical road section in terms of traffic jams in which the elevated line of a light subway will be implemented. The second scenario attempts to provide a new mobility model in the metropolitan area of Bucaramanga in order to determine the effectiveness in which the new system will affect the mobility in the long term (fifteen years), by evaluating the scenarios during the years 2020, 2025 and 2030.

* Degree work

** School of Physics and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Hernán Porras Díaz, PhD.

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de Bucaramanga presenta actualmente una problemática de movilidad que se ha ido acrecentando debido al incremento del parque automotor y a las facilidades que se han presentado para la compra de vehículos, a la fecha el área metropolitana cuenta con un sistema integrado de transporte masivo el cual hace uso de un carril exclusivo en algunos tramos viales, lo cual indica que el sector del tránsito privado ha perdido un carril, o dos en otros casos con lo cual la congestión vehicular ha venido en aumento.

En tramos viales como la carrera 15, carrera 27 y carrera 33 se viene presentando un crecimiento de tráfico acelerado lo que contribuye a una disminución de la movilidad en el área metropolitana y por consiguiente una disminución en la calidad de vida de los habitantes del área metropolitana.

Se busca evaluar cuál es el punto más crítico de la movilidad en toda la malla vial del área y escoger este punto para evaluar el impacto de un metro ligero elevado en la movilidad de toda el área metropolitana enfocándose en la implementación del nuevo sistema y como este afectaría el tráfico vehicular privado.

Con el software de modelación TransCad proporcionado por el grupo de investigación de Geomatica de la Universidad Industrial de Santander se buscan los corredores más críticos y se escoge el más relevante de estos para posteriormente hacer un nuevo escenario de movilidad donde se tenga en cuenta la implementación del nuevo sistema y como este afectaría de forma directa la movilidad de la zona.

1. TRANSPORTE MASIVO

La movilidad urbana ofrece además de un desplazamiento por parte de los habitantes de una urbe, una calidad de vida en su desarrollo habitual junto con una realidad socioeconómica la cual se ve ligada a factores como: edad, género y categoría socio laboral. Aspectos que son indicadores del nivel de desarrollo de una sociedad que se tienen en cuenta a la hora de evaluar diferentes índices de desarrollo, como son por ejemplo la educación, la vivienda, el acceso a sistema de salud, el transporte, etc.

La visión de transporte va mucho más allá de un estudio de oferta y demanda, pues se puede apreciar que los individuos como tal tienen aspectos tanto generales como particulares que no se pueden encasillar en un estudio de un determinado lugar sin analizar el impacto socioeconómico que pueda llegar a sufrir la comunidad, es por eso que más allá manejar el concepto de transporte, se debe manejar el concepto de movilidad que permite tener en cuenta de forma particular a los habitantes y posibles usuarios de transporte urbano.

El rápido crecimiento del tráfico vehicular junto con la infraestructura vial actual que se ha quedado corta frente crecimiento del parque automotor son una problemática que actualmente afrontan diferentes ciudades del mundo, donde más de un billón de automóviles circulan por las calles y esta cantidad seguirá creciendo debido a las facilidades que se presentan hoy en día para que las personas puedan adquirir un vehículo, ese aumento desmedido de automóviles y motocicletas agudizan los problemas de contaminación ambiental (por CO₂), contaminación por ruido, alto consumo de combustibles, aumento en los tiempos de viaje y accidentalidad, llevando a desmejorar la calidad de vida de los residentes de las grandes ciudades.

Menor movilidad significa menor accesibilidad al trabajo, a la oferta habitacional, a la educación, a la salud y a los servicios en general; es por eso que se debe tener una estructuración del espacio urbano regulada mediante planes de urbanismo y orientaciones técnicas.

Colombia no es una excepción al problema del incremento en el tráfico vehicular, éste se ha presentado en diferentes ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga, entre otras, debido al crecimiento económico y poblacional que han tenido. Por eso a nivel nacional se ha buscado dar solución a esta problemática implementando medidas como el Pico y Placa que buscan reducir parcialmente el uso de vehículos privados y de servicio público (taxis), o mediante sistemas integrados de transporte masivos como el Transmilenio, Metroplús, MÍO, Transmetro, Metrolínea, entre otros.

El problema del diseño de las ciudades en Colombia salta a la luz pública, puesto que no se calculó ni el crecimiento demográfico, ni la cantidad de vehículos que iban a tener sus vías, razón por la cual se presentan los serios problemas de movilidad que actualmente afrontan las capitales Colombianas, de esta forma surgen los sistemas anteriormente mencionados buscando que el impacto que estos produzcan a los diversos proyectos que conforman el sistema logren una renovación física de las ciudades y los consecuentes avances de la movilización.

Para las ciudades con más de 600 mil habitantes se recomienda que se estructuren sistemas integrados de transporte masivo en los corredores principales, con carriles exclusivos para la operación de buses de alta capacidad, e infraestructura especial para el acceso de pasajeros. Es por esto que se hace urgente estudiar más propuestas que ayuden a mejorar la movilidad en la ciudad y a mitigar el impacto que el crecimiento del parque automotor produce en esta.

Un sistema de transporte masivo se fundamenta en una nueva infraestructura para el transporte urbano de pasajeros compuesta de carriles exclusivos, buses articulados y paradas fijas; el sistema introduce en un nuevo esquema operativo, basado en una organización pública de la planificación, el recaudo, el control centralizado y la construcción de infraestructuras. En el aspecto funcional un sistema de transporte masivo busca lograr agilizar la movilidad urbana cotidiana en horas punta, reduciendo la congestión y por ende disminuyendo los tiempos de desplazamientos.

En lo social un sistema de transporte masivo tiene la función y capacidad de lograr una completa transformación, más allá de la puesta en práctica del modelo funcional, el sistema plantea una forma diferente de movilización, de apropiación de la ciudad y de su espacio público, lo que logra promover en sus usuarios un nivel de pertenencia que se traduce en cultura ciudadana y mejor calidad de vida; de la mano de las transformaciones funcionales y sociales vienen los cambios paisajísticos y arquitectónicos que buscan ejecutar en su conjunto una innovadora estrategia de organización de la movilidad, logrando replantear la distribución del espacio público entre peatones, vehículos motorizados y no motorizados. El objetivo de todas estas medidas busca generar un cambio en la mentalidad del ciudadano frente a la práctica de la movilidad, logrando que mejore el nivel de vida, construyendo una ciudad más eficiente y competitiva, en la que se le dé prioridad al transporte colectivo dando como resultado modos alternativos de movilidad y una racionalización en el uso del automóvil.

Además, se deben tener en cuenta sus características de equidad social y eficiencia de inversión de recursos públicos, pues la inversión en transporte masivo tiene repercusiones para poblaciones más grandes y de mayores necesidades que otras inversiones en transporte. En este sentido, el transporte masivo es más equitativo por la mayor facilidad para las poblaciones de menores ingresos para acceder a este transporte en comparación con el transporte privado, la mayor accesibilidad a

bienes y servicios que genera la existencia de un transporte público y la disminución de inseguridad vial al priorizarse el transporte público en las vías.

La concepción del transporte masivo busca mejorar las necesidades de transporte de las personas antes que las de los vehículos, y donde en consecuencia se enfatiza la utilización de transporte público y no motorizado por encima de la utilización del transporte privado motorizado. Esto a su vez también tiene consecuencias favorables en términos de menor segregación espacial y densidades más apropiadas en las ciudades.

La mejoría de los sistemas de transporte público es crucial para el desarrollo sostenible de una ciudad en términos sociales, ambientales, económicos, políticos y urbanísticos. Especialmente en ciudades en desarrollo donde se busca evitar el cambio modal hacia el automóvil particular por insatisfacción con el servicio de transporte público.

El sistema de transporte masivo de pasajeros en las ciudades debe atender, sin dejar ninguno sin satisfacer los siguientes principios:

- Economía en el costo del pasaje.
- Intervalos cortos de espera.
- Mínimo tiempo de viaje
- Comodidad.
- Seguridad.
- Ecológicos.
- Proyección del funcionamiento al largo plazo.
- El metro como eje planificador del crecimiento urbano.
- Garantía en la continuidad del servicio.

Las transformaciones urbanas están estrechamente relacionadas con los sistemas de movilidad y con las formas de producción del espacio; actualmente el área

metropolitana de Bucaramanga cuenta con 307.133 motocicletas y 203.187 entre automóviles, camperos y camionetas en circulación [1], cifras que tienden a aumentar a pesar de la implementación de la medida del pico y placa, y del funcionamiento del sistema integrado de transporte Metrolínea que cubre rutas en Bucaramanga y su área metropolitana, que ha logrado movilizar aproximadamente, entre 150 mil y 157 mil pasajeros de los 482.789 usuarios diarios del sistema de transporte público urbano [2]. La congestión vehicular en la horas pico no ha disminuido, ni se ha logrado incentivar a más habitantes a usar el sistema de transporte público. Las medidas que se han estado aplicando y que se pensaría desincentivarían del uso vehicular han resultado escasas frente al crecimiento del parque automotor en Bucaramanga y su área metropolitana, sumándose la falta de infraestructura vial y a las limitaciones geográficas que impiden la ampliación de ésta.

La problemática que enfrenta el área metropolitana de Bucaramanga permite que se puedan evaluar otros modelos de transporte masivo con los cuales se busque una solución efectiva a la actual situación vehicular que deben afrontar los habitantes del área, razón por la cual hacer un juicioso estudio de alternativas en sistemas de transporte masivo puede permitir elaborar una solución técnica y real a las necesidades actuales; logrando poner a Bucaramanga y su área metropolitana en camino de una transformación que comprende cambios de movilidad, paisajísticos, arquitectónicos, económicos, pero sobre todo sociales en una sociedad que demanda soluciones integrales y equitativas para sus ciudadanos.

1.1. HISTORIA DEL FERROCARRIL

Los inicios de un sistema de transporte sobre rieles se dieron en la Antigua Grecia, consistía en hendiduras talladas sobre piedra donde los esclavos empujaban plataformas con botes a lo largo de 3 kilómetros, este camino era llamado Diolkos y

permitía a los barcos navegar desde el mar Jónico hasta el mar Egeo, evitando navegar alrededor de la península del Peloponeso, cuyo litoral rocoso era sumamente peligroso, esto ocurrió en el siglo VI antes de Cristo y se mantuvo en funcionamiento durante 600 años más.

Los primeros ferrocarriles aparecieron en Europa durante la edad media, en 1.515 en Austria se empleaban funiculares movidos por fuerza humana o animal mediante una cuerda de cáñamo sobre rieles de madera, este tipo de rieles y vagones se hicieron muy comunes en 1.550 por toda Europa ya que facilitaban el trabajo en las minas.

El auge de los ferrocarriles llegó a América del Norte en el año de 1.720 donde un ferrocarril fue usado para transportar materiales en la construcción del fuerte de Nueva Escocia, Canadá. De ahí en adelante el uso del ferrocarril era común en el transporte de diferentes materiales de construcción, pero después de terminado el trabajo el ferrocarril y sus rieles eran desmontados.

En 1.810 apareció el primer ferrocarril permanente movido por gravedad en Pensilvania, Estados Unidos el cual fue llamado Leiper Railroad y su objetivo era funcionar como transporte público, éste ferrocarril fue evolucionado hasta convertirse finalmente en el Crum Creek Branch de Ferrocarriles de Baltimore y Filadelfia la que fue también la primera empresa de transporte público en el año de 1.887.

En Londres se inauguró la línea Surrey Iron Railway en 1.803, éste fue el primer ferrocarril público tirado por caballos sobre rieles de hierro, estos rieles tenían la desventaja de ser frágiles y cortos, problema que se solucionó en 1.820 al inventarse el hierro forjado, esto permitió aumentar la longitud inicial de las vías del ferrocarril en 15 metros, pero finalmente en 1.857 se dieron cuenta que el material más resistente para la construcción de los rieles era el acero.

Las primeras locomotoras de vapor empezaron a funcionar con éxito desde 1.812 donde Matthew Murray diseñó y construyó la locomotora Salamanca, ésta locomotora constaba de dos cilindros y montaba el sistema de cremallera patentado por John Blenkinsop, solucionando el problema de peso de la máquina. En 1.825, George Stephenson construyó la Locomotion para la línea entre Stockton y Darlington, al noreste de Inglaterra, ésta fue la primera locomotora de vapor que arrastró trenes de transporte público. En 1.829 también construyó la locomotora The Rocket. El éxito de estas locomotoras llevó a Stephenson a crear la primera compañía constructora de locomotoras de vapor que fueron utilizadas en las líneas de Europa y Estados Unidos.

En 1.825 en Inglaterra se inauguró la primera línea ferroviaria de carácter público, era movida mediante locomotoras entre Stockton y Darlington, para 1.830 se inauguró la primera línea de ferrocarril interurbano, la línea entre Liverpool y Mánchester, su ancho era de 1435 mm, actualmente conocido como ancho internacional ya que es utilizado por aproximadamente el 60% de los ferrocarriles actuales. El mismo año se inauguró el primer tramo de la línea entre Baltimore y Ohio, la primera en unir líneas individuales en una red. Debido a esos éxitos con las locomotoras de vapor las líneas de ferrocarriles se hicieron comunes en todo el mundo. [3]

La primera línea de tranvía eléctrico fue abierta en Lichterfelde, cerca de Berlín, Alemania, en 1.881. Fue construida por Werner von Siemens. En Gran Bretaña, el ferrocarril eléctrico de Volk fue abierto en 1.883 en Brighton. En Estados Unidos, los primeros tranvías eléctricos fueron los del Richmond Union Passenger Railway en 1.888, usando equipamiento diseñado por Frank J. Sprague.

En la década de 1890 algunas grandes ciudades, como Londres, París y México, utilizaron esta nueva técnica para construir líneas de metro urbanas. En ciudades medias, los tranvías se hicieron algo común y fueron el único medio de transporte

público durante varias décadas. Todas estas líneas utilizaron corriente continua, y la primera línea que utilizó corriente alterna fue inaugurada en Austria en 1904.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de transporte ferroviarios, la mayoría de estos tienen en común que están compuesto por vagones o coches acoplados entre si y remolcados por una locomotora generalmente circulan sobre rieles o carriles permanentes para el transporte de mercancías o pasajeros de un lugar a otro, para diferenciarlos mejor se podrían clasificar así:

1.1.1 Transporte de tránsito rápido o independiente

- **Metropolitano o Metro:** Se define como un sistema de trenes eléctricos urbanos ubicado dentro una ciudad y su área metropolitana, se caracteriza por ser un transporte masivo de pasajeros con altas capacidades, pueden contar con dos a más de diez coches, recorre mayormente distancias cortas, con una frecuencia constante, cuenta con carriles exclusivos es decir es completamente segregado [4]. Las redes pueden ser:
 - - **Subterráneas:** Se diseñan túneles y estaciones subterráneas para que sea más eficiente y seguro al no tener contacto con peatones y vehículos como el Underground de Londres que fue el primer metro subterráneo en ser inaugurado en 1.863 y actualmente cuenta con una longitud de 400 km, 270 estaciones, 11 líneas y aproximadamente 3 millones de pasajeros diarios. Otro ejemplo es el U-Bahn de Alemania que comenzó su funcionamiento en 1.902 cuenta con 170 estaciones, 10 líneas, aproximadamente más de 507 millones de pasajeros anuales.
 - **Elevadas:** En este caso se construyen puentes y líneas elevadas para acortar distancias al pasar sobre ríos o carreteras como el L de Chicago inaugurado en 1.892, es el tercer metro más transitado de Estados

Unidos tiene una longitud de 170.8 km, con 144 estaciones, 8 líneas, muchas de las estaciones conectan hasta 5 líneas.

1.1.2 Transporte ferroviario ligero

- **Tranvía:** Es un medio de transporte de pasajeros que circula por la superficie en la ciudad aprovechando las vías urbanas existentes. Un ejemplo claro de este es el tranvía moderno de Estambul fue puesto en servicio en 1.992, la línea tiene 24 estaciones, 14 km de longitud, un viaje completo dura 42 minutos y diariamente transporta 155.000 pasajeros y está completamente integrado con otros sistemas de transporte público como un funicular y un metro ligero.
- **Tren ligero:** es un sistema tranviario que circula en gran parte de su recorrido por una plataforma parcial o totalmente segregada del tráfico rodado y en algunos casos tienen prioridad semafórica. El metro ligero es un modo de transporte ferroviario de tracción eléctrica, típicamente urbano y suburbano donde las poblaciones son mayores de 200.000 habitantes, constituido por una flota de vehículos con conductor que operan fundamentalmente en plataforma reservada, pero con interferencias puntuales con el resto del tráfico de vehículos y peatones en cruces a nivel. No obstante, también pueden existir tramos de plataforma totalmente independiente, en superficie, en túnel o en viaducto, y de plataforma compartida con el resto del tráfico. [4]
- **Monorriel:** Es un sistema de transporte ferroviario de tracción eléctrica, típicamente urbano y suburbano, en donde los vagones tienen neumáticos de caucho que se desplazan sobre un solo riel para transportar mercancías o peatones. Los monorrieles requieren un espacio mínimo comparado con los ferrocarriles tradicionales, son capaces de subir mayores pendientes que los metros o trenes ligeros, son mucho más seguros al rodear su riel

completamente al desplazarse y son completamente segregados. Los monorraíles pueden ser:

- **Sobre viga:** Funcionan sobre una viga de hormigón armado de entre 0.5m a 1m de ancho. Algunos de ellos están situados en Las Vegas, Seattle, Tokio, entre otros.
- **Suspendidos:** Los vagones del tren están suspendidos bajo el sistema de ruedas que se desplaza dentro de la viga. El primero de ellos fue construido en Wuppertal, Alemania, fue inaugurado en 1.901, tiene una longitud de 13.3 km, cuenta con solo una línea y 20 estaciones, transporta 80.000 pasajeros diariamente y es el principal medio de transporte público de la ciudad. [5]

1.1.3 Transporte ferroviario pesado

- **Trenes de cercanías o sub urbanos:** Es un sistema de transporte que recorre una distancia menor a 100 km entre estaciones extremas, presta el servicio entre el centro de la ciudad y las afueras o entre dos ciudades cercanas, transporta a un gran número de pasajeros diariamente, a pesar de proporcionar asiento para todos los pasajeros carece porta equipaje, cuenta con muchos vagones, se rigen por un horario fijo y no con intervalos de tiempo, comparten sus rieles con otros trenes de pasajeros y de carga, todos los tramos son a nivel, y se desplazan con velocidades entre 50 y 200 km/h. [6]
- **Trenes interurbanos o de larga distancia:** generalmente circulan en velocidades superiores a 200 – 250 km/h, conectando diferentes ciudades o hasta distintos países, son trenes con vagones cómodos cuentan con camarotes, carro comedor o incluso grandes vagones para llevar equipaje o hasta automóviles particulares. Uno de los primeros trenes de este tipo se inauguró en Japón en 1.964, fue llamado Nuevo Tokaido, iba desde Tokio

hasta Osaka con una velocidad de 240 km/h. Actualmente el tren más rápido que no es de levitación magnética es el TGV en Francia con una velocidad de 574,8 km/h y obtuvo ese record en 2.007, esa línea fue inaugurada en 1.981 es una línea entre Paris y Lyon, con una distancia de 409 km y actualmente se encuentra en funcionamiento. Este tipo de trenes se pueden encontrar en Francia, Japón, España, Alemania, Italia entre otros. [6]

1.1.4 Otros tipos de transporte ferroviario

- **Ferrocarriles de cremallera:** Estos ferrocarriles cuentan con un tercer riel que les permite subir por pendientes mayores al 8%, es principalmente usado en las montañas rusas y en ciudades en las montañas de España como Ribas de Freser, Queralbs y el Valle de Nuria.
- **Funiculares:** Son tipos especiales de ferrocarriles ya que están diseñados para desplazarse en grandes pendientes, normalmente dispone de dos cabinas enlazadas por un cable de acero sobre una vía de ferrocarril, a modo de ascensor inclinado, de tal forma que mientras un vehículo sube el otro baja, lo que permite aprovechar la energía potencial del que queda en la parte superior para subir el inferior a la vez que se frena el que está bajando. Son comunes en distintas ciudades de Chile, España, México y el ejemplo más cercano lo podemos ver acá en Colombia al subir al cerro de Monserrate.

1.2. ALTERNATIVAS ACTUALES DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO (STM)

Los proyectos de transporte público deben enmarcarse dentro de una política de transporte urbano coherente a las necesidades que se viven actualmente; precisamente una solución a esta necesidad es el eje de transporte masivo como

respuesta a niveles de demanda superiores en la ciudad. Todo esto junto con la tecnología y la estructura de los transportes masivos deben atender la demanda en condiciones de operación adecuadas buscando que la elección acerca de las opciones de transporte público sea una elección acerca del futuro de la ciudad.

Actualmente se manejan diversos sistemas de transporte masivo los cuales deben ser estudiados y manejados correctamente para lograr la implementación adecuada según sea la necesidad requerida. Naturalmente se deben tener en cuenta en estas alternativas diferentes consideraciones técnicas para estar acorde al objetivo, sin embargo cabe aclarar que las consideraciones de costos (incluyendo costos de construcción, material móvil y operación) aunque importantes y determinantes al momento de evaluar las alternativas no se tienen en cuenta para determinar una viabilidad técnica, este documento centra su atención principalmente en sus características técnicas tales como: flexibilidad de la implementación, capacidad de pasajeros y velocidad de operación; estas especificaciones de carácter técnico logran dar una idea de sus efectos, y a mayor plazo sobre la pobreza, la forma de la ciudad y el medio ambiente. En términos de mantener una forma de ciudad amigable con el transporte público y asegurar contactos y servicios a la comunidad, la implementación de alternativas de transporte masivo busca estimular el transporte público en vez del privado.

El sistema de transporte masivo (**STM**) es un servicio de transporte público de pasajeros, usualmente de ámbito local, que está disponible para cualquier persona que pague una tarifa prescrita. Generalmente operan sobre carriles fijos y exclusivos (aunque también se ven de carril mixto interactuando con el transporte privado) según horarios establecidos, a lo largo de rutas designadas o líneas con paradas específicas, diseñados para movilizar grandes números de personas al mismo tiempo. Para las alternativas de **STM** se pueden distinguir tres formas generales de transporte masivo: Autobús de tránsito rápido (BRT), Metros Pesados, Trenes ligeros (LRT)

1.2.1 Sistema de autobús de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT)

Son buses con motor de propulsión interna o trolebuses, operando en carril exclusivo a nivel (1 y/o 2 carriles por sentido) el cual comprende una infraestructura vial segregada que le permite alcanzar una mayor capacidad de pasajeros transportados respecto al servicio tradicional de bus urbano.

Los sistemas de buses organizados (BRT) generan buenos niveles de servicio y seguridad, pero ocupan vialidad existente y pueden generar altas emisiones si operan con motor de combustión interna, en comparación con sistemas eléctricos, sin embargo para operar en buenas condiciones de 4 carriles (2 por sentido) y un espacio adicional para estaciones deben usar un promedio de 19 metros de espacio vial lo cual causa un impacto en la movilidad al ocupar espacio del tráfico privado haciendo que se reduzca la malla vial para los usuarios de vehículos.

Los sistemas BRT siempre incluyen de alguna forma el exclusivo derecho de paso para los buses, con vías al nivel de la calle, pero también podrían darse vías de autobús elevadas o subterráneas, estas vías se utilizarían parcialmente en la ciudad para atravesar algunos centros que así lo requieran; sin embargo en muchas ciudades en desarrollo los fondos no van a estar disponibles para este tipo de separaciones de nivel de envergadura por sus costos.

En cuanto al servicio de puntualidad se ve un incremento en los tiempos de viaje debido a accidentes en la vía que afectan el sistema al compartir carriles con el tráfico privado, por lo tanto la regularidad del servicio BRT es variable. **[7]**

Figura 1. Metrolinea, Estación Cañaveral.



Fuente: Internet, Asociación Latino-Americana de Sistemas integrados y BRT (SIBRT).

1.2.2 Sistema de trenes totalmente segregados (Metros Pesados)

Son trenes eléctricos operando en vías completamente segregadas elevadas o subterráneas lo que implica un bajo impacto urbano al no usar la vialidad existente; también cuentan con altos niveles de servicio, confiabilidad y seguridad. En general, resultan en reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente si la generación de energía es hidroeléctrica. En su contra juegan sus bajos niveles de flexibilidad, lo cual hace su integración con el resto del transporte de la ciudad usualmente difícil.

Los metros son por lo general el sistema de transporte masivo más costoso por kilómetro de ruta, pero poseen la mayor capacidad y el mejor desempeño. Los costos pueden variar en gran medida. Los costos totales de capital pueden ser tan bajos como US\$8 millones por kilómetro donde un derecho de vía a nivel está disponible para su conversión, y puede subir a más de US\$150 millones por kilómetro para un ferrocarril subterráneo en terreno difícil.

Es indiscutible su capacidad para transportar grandes cantidades de personas en distancias cortas con rapidez, con un uso mínimo del suelo pues su segregación es completa, ya sea subterránea o vertical.

Pese a que la tendencia expansiva de las redes de metro de las grandes ciudades las ha llevado a conectar con otros núcleos de población periféricos del área metropolitana, el tipo de servicio que prestan sigue siendo independiente del que prestan otros sistemas de transporte lo cual hace difícil su integración a dichos sistemas.

Figura 2. Metro Santiago de Chile.



Fuente: Internet, Metro Santiago de Chile.

1.2.3 Sistema de trenes a nivel o parcialmente segregados (Metros Ligeros) (Light Rail Transit, LRT)

Son tranvías o trenes con motor eléctrico operando a nivel con segregación longitudinal (puede incorporar segregación vertical en algunos tramos).

Generan mejoras importantes en la calidad del transporte y del medio ambiente urbano, pero ofrecen baja confiabilidad por interferencia con el tráfico y apiñamiento de vehículos que ocupan vialidad existente (si son de segregación a nivel) como es

el caso de los tranvías, o pueden presentarse con segregación vertical los cuales no producen ocupación vial por lo tanto no tienen interferencia con el tráfico privado, dejando que este tenga una total ocupación vial.

Con las tecnologías de control de trenes, el metro ligero ofrece la gama más amplia de cualquier sistema ferroviario en el diseño, la ingeniería y las prácticas operativas. El reto en el diseño de sistemas de metro ligero es darse cuenta del potencial para proporcionar un servicio rápido y cómodo, evitando la tendencia al sobredimensionamiento y los costos excesivos de capital más allá de lo necesario para satisfacer las necesidades del público.

Este tipo metros contiene subtipos que varían tanto como necesidades se tengan; sin embargo podemos dividirlos en metros ligeros con segregación horizontal (ocupación vial) los cuales pueden recibir el nombre de tranvías y de segregación vertical (sin ocupación vial) que reciben el nombre de monorraíl.

Figura 3. Metro ligero-Tranvía en Milán. (Segregación a nivel)



Fuente: Internet, Transportes en Italia

Figura 4. Metro ligero- Monorriel en Las Vegas (segregación vertical)



Fuente: Internet, Bombardier.

1.3 OFERTAS TECNOLÓGICAS

Al realizar la investigación sobre las diferentes ofertas tecnológicas para una línea elevada de metro ligero como propuesta que permita disminuir el nivel de tráfico en el área metropolitana de Bucaramanga, se estudiaron tres diferentes alternativas de metros ligeros elevados que podrían ser aplicadas.

1.3.1 Alternativa 1

La primera alternativa está ubicada en Alemania, en la Universidad Dortmund y en Dusseldorf, son un sistema de monorrieles suspendidos, sin conductor, controlado automáticamente y construido por la empresa H-BAHN21 y Siemens. En el caso de Dortmund la frecuencia del sistema varía debido a que puede funcionar con tiempos constantes durante las horas pico o bajo demanda ya que el usuario puede solicitar una cabina usando un botón en las horas valle, lleva más de 5.000 pasajeros por día y se encuentra en funcionamiento desde el 02 de mayo 1984. La longitud de la línea es de aproximadamente 3 km, cada cabina mide 9,2 m de largo por 2,24 m de ancho, cuenta con capacidad para 29 pasajeros sentados y 16 de pie, y se

desplazan desde 1 hasta 5 cabinas unidas dependiendo de la demanda. Se mueve con velocidades entre 15 km/h y 80 km/h y una pendiente máxima del 6%. Está totalmente integrado con las redes de transporte de trenes, subterráneos, tranvías y autobuses del transporte público de la ciudad de Dortmund y del distrito de Rhein-Ruhr. [8]

Figura 5. Monorriel Dortmund.



Fuente: Internet, H-BAHN21.

1.3.2 Alternativa 2

Está localizada en la ciudad de Wuppertal, Alemania. Es un monorriel suspendido cuya primera vía fue inaugurada al público el 1 de marzo de 1901, a pesar de ser el primer monorriel suspendido en ponerse en funcionamiento en el mundo se le ha llevado a cabo una serie de procedimientos de modernización y refuerzo a la estructura de soporte, a las estaciones y se han adquirido nuevos vagones, logrando transportar actualmente cerca de 82 mil personas por día, convirtiéndolo en el principal medio de transporte público en la ciudad. Cuenta con 20 estaciones en los puntos más importantes de la ciudad, con una distancia media de 700 m entre estaciones y se desplaza por una ruta de 13,3 km, suspendido entre 12 m y 8 m sobre la ciudad y una pendiente máxima del 4%. Los vagones actuales tienen 24 metros de largo por 2,2 m de ancho, 4 puertas, 48 asientos y una capacidad

aproximada de 130 pasajeros de pie. La velocidad máxima es de 60 km/h y la velocidad media es de 27 km/h. [9]

Figura 6. Monorriel Wuppertal.



Fuente: Internet, Schwebebahn.

1.3.3 Alternativa 3

Es el monorriel de la ciudad de Las Vegas en Estados Unidos, se inauguró el 15 de julio de 2004 y el sistema fue diseñado por la empresa Bombardier. Este monorriel se desplaza sobre una línea de 6,4 km de largo, con 7 estaciones, el monorriel cuenta con 4 vagones articulados para 240 pasajeros, 80 sentados y 160 de pie, los vagones miden 17,35 m de largo y 2,5 m de ancho. La línea está diseñada en su mayoría en un tramo recto y la velocidad máxima en ese tramo es de 80 km/h lo que hace el tiempo de desplazamiento entre paradas sea aproximadamente de 2.25 minutos y la pendiente máxima es de 6.5%. [10]

Figura 7. Monorriel Las Vegas.



Fuente: Internet, Bombardier.

1.3.4 Análisis de alternativas

Después de estudiar las diferentes alternativas, teniendo en cuenta la capacidad de pasajeros para cada una de ellas y comparándolas con la capacidad de pasajeros de un bus articulado del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea, se determinó que el tamaño de vagón más adecuado para Bucaramanga y su área metropolitana sería el de la alternativa 2, porque actualmente el bus articulado tiene una capacidad total de 160 pasajeros y el vagón del Monorriel de Wuppertal tiene una capacidad total de 178 pasajeros, siendo esta la capacidad intermedia de las alternativas propuestas.

2 DEFINICIÓN DE LA RUTA

Se pretende hacer un modelo de la situación actual del tráfico vehicular en el área metropolitana de Bucaramanga para realizar un comparativo de indicadores de tránsito y analizar cual tramo vial presenta el mayor flujo de vehículos y números de viajes para finalmente escoger la ruta que se pretende analizar e implementar el nuevo sistema de transporte masivo.

2.1 TRAFICO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA

En Bucaramanga y su área metropolitana según el censo realizado en el 2005 por el DANE se proyectó una población de 1.122.945 habitantes para el año 2015 [11], de los cuales se estima que el 50% se desplaza a diario en transporte público, 20% en vehículo particular y otro 20% en medios no motorizados [12]. Esa proyección se ve afectada actualmente teniendo en cuenta el acelerado incremento de motocicletas en un número mayor que el de automóviles, debido a ese incremento en el parque automotor, a la falta de infraestructura vial y a las limitaciones geográficas que impiden la ampliación de ésta, se han agravado los problemas de congestión en las vías de la ciudad.

A pesar de la implementación de medidas para disminuir el tráfico vehicular como lo es el pico y placa y teniendo en cuenta el actual sistema de transporte público Metrolinea no han sido suficientes para disminuir la congestión en las principales vías sobre todo en las horas pico, es por eso que se ve necesario la implementación de un sistema de transporte público de mayor capacidad y eficiencia, que sea más atractivo para aumentar el número de usuarios de transporte público y menos invasivo, en las rutas que conectan directamente al área metropolitana.

Dado que la demanda del transporte es derivada de las actividades que desarrollan sus usuarios, es importante entender bajo qué fines se desplazan las personas. En particular, del estudio adelantado en el año 2005 para el “Diseño e Implementación de un Sistema de información de Soporte para el Plan Integral de Transporte masivo del Área metropolitana de Bucaramanga” se determinó que en Bucaramanga y su área metropolitana la mayoría de los viajes en transporte público son realizados principalmente por razones laborales, y en segundo lugar, con fines educacionales. Por otro lado, en el mismo estudio se definieron tres picos de demanda del sistema de transporte público, siendo el intervalo entre las 7:00 y las 8:00 de la mañana el de mayor relevancia. [13]

2.1.1 Demanda de tráfico

En el año 2011 la Universidad Industrial de Santander llevó a cabo un estudio que logró establecer patrones en la demanda de los usuarios del transporte público en Bucaramanga y su área metropolitana. Se determinó de que durante la hora pico (7:00 y 8:00 a.m.) la mayoría de viajes tienen como destino Bucaramanga más específicamente la zona centro de la ciudad y el origen de esos viajes son los municipios de Girón, Floridablanca y Piedecuesta, además que los ejes más transitados para llevar a cabo los viajes son la autopista Bucaramanga - Piedecuesta y Bucaramanga - Girón, así como sobre los corredores viales de la carrera 33, 27, 21,22 y la diagonal 15. En cuanto al transporte público horas picos coinciden con las anteriormente mencionadas, mientras que en el transporte masivo se obtuvo una mayor demanda en la hora pico nocturna y durante la mañana los principales orígenes de viajes son Provenza y Floridablanca y los principales destinos el centro de Bucaramanga y los alrededores de las UIS. [12]

2.2 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO CON EL ACTUAL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO EN TransCad

Teniendo en cuenta los principales focos de orígenes y destinos de viajes, el mapa de zonificación y la red vial a utilizar correspondiente a Bucaramanga y su área metropolitana suministrada por el grupo de investigación de Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander se procede a modelar la situación del tráfico vehicular privado actual (año 2015) y a futuro (años: 2020, 2025, 2030) en el software TransCad con el cual se obtendrán unos rangos de volumen de vehículos que transitan por los diferentes corredores viales de Bucaramanga y el área metropolitana, para así poder determinar el eje vial con mayor afluencia vehicular y sobre dicho eje basar la investigación.

2.2.1 Modelo de asignación de tráfico

Para desarrollar el proceso de asignación es necesario escoger el algoritmo que mejor se comporte en el modelo. Se utilizará el algoritmo de Equilibrio Estocástico. El algoritmo del equilibrio estocástico asume que los usuarios del sistema no tienen un conocimiento exacto del tiempo de viaje ni una percepción uniforme de su coste, motivo por el que no siempre coinciden el camino óptimo y el camino escogido para desarrollar un desplazamiento, existiendo múltiples relaciones O/D que son utilizadas por los usuarios. [14]

Tradicionalmente, los patrones de la demanda de viajes realizados en los sistemas de transporte público se han representado en una matriz de viaje origen-destino, entendida como un arreglo de dos dimensiones donde cada celda establece el número de viajes realizados entre una zona de origen (fila) y una zona de destino (columna), pudiéndose crear múltiples matrices para una misma área de estudio desagrupando la demanda según el tipo de usuario, el propósito del viaje, el modo de transporte empleado y el intervalo de tiempo en el cual tiene lugar el desplazamiento. [13]

Las matrices origen-destino con las cuales se modeló el tráfico en el área metropolitana para el nuevo sistema fueron proporcionadas por el grupo Geomática de la Universidad Industrial de Santander las cuales se encuentran calibradas a la situación actual (2015) y hacen una aproximación al tráfico futuro del área metropolitana (2020, 2025, 2030), para la elaboración de dichas matrices se tuvieron en cuenta estudios tales como:

- **Estudio de ascenso y descenso:**

Consiste en determinar la cantidad de pasajeros que ingresan y salen de las unidades de transporte del sistema (articulados, padrones, etc.) En determinados lugares y en ciertas horas. Sus resultados permiten

conocer los perfiles de carga dentro del sistema, así como los sitios de mayor demanda.

- **Estudios de frecuencia y ocupación visual:**

Determina el número de vehículos y usuarios que transitan en determinados puntos de control sobre el sistema, permitiendo identificar la demanda a lo largo de los corredores.

2.2.2 Análisis de resultados

La demanda actual de viajes como se indicó anteriormente se consideró a partir de una matriz la cual fue desarrollada en la hora pico (7:00-8:00) teniendo en cuenta las zonas en la cual está dividida el área metropolitana, representadas por centroides de análisis que buscan simular los tipos de propósitos de viaje y los usuarios del sistema, implementando un software para macro-simulación de tráfico, en este caso de análisis el software empleado es TransCad, suministrado por el grupo de investigación Geomática con el cual se tienen las matrices anteriormente mencionadas para los años 2015, 2020, 2025, 2030, de tal forma que se pueda observar mediante un modelo el comportamiento del tráfico.

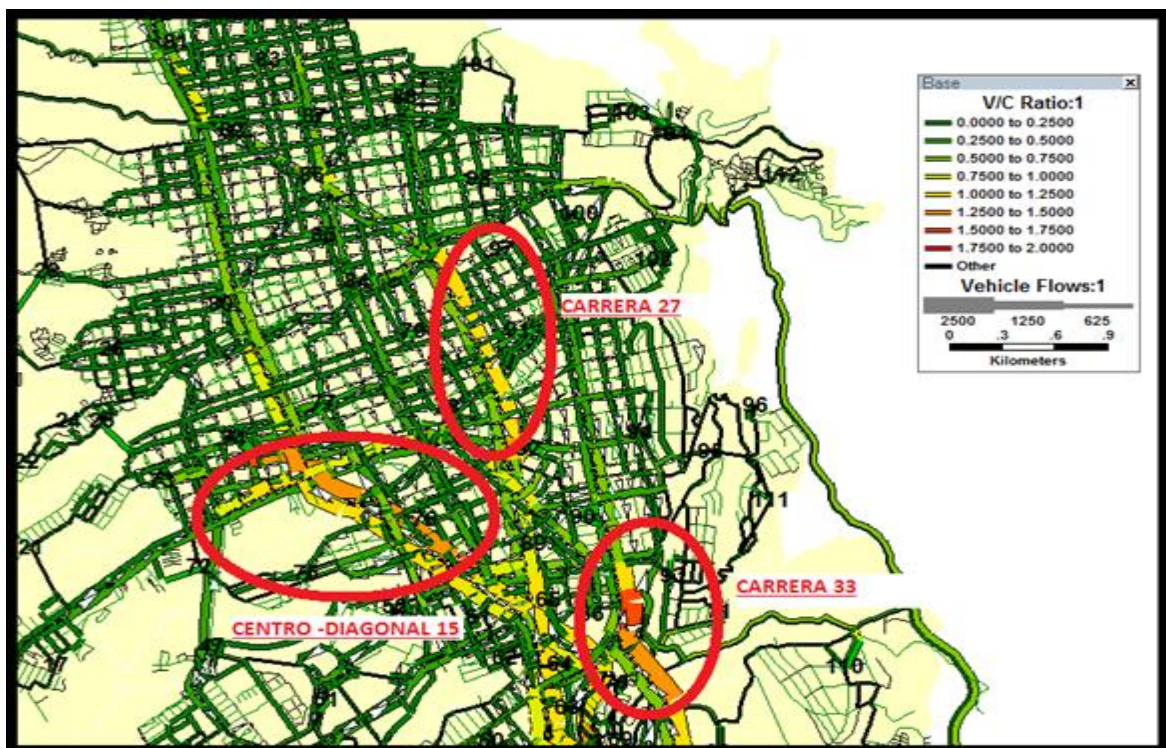
Después de ejecutar el software TransCad, se obtienen resultados respecto al volumen de tráfico vehicular en los diferentes corredores viales de Bucaramanga con las matrices que se tienen asignadas para tráfico privado, dando una relación volumen-capacidad (V/C) la cual la literatura existente indica que con una relación mayor a 0.75 se considera que se presenta una congestión vehicular, con esta relación se puede observar el nivel de ocupación y niveles de servicio que arrojan los corredores viales con los tráficos actuales y futuros.

Los resultados obtenidos muestran con el software muestran que el corredor vial con mayor volumen de vehículos es el de la diagonal 15, este resultado además se

ve respaldado con las investigaciones mencionadas anteriormente las cuales indican al centro de la ciudad de Bucaramanga como el principal destino de los viajes provenientes del municipio de Girón, Floridablanca y Piedecuesta.

La ruta seleccionada muestra actualmente un tráfico vehicular mínimo en el sector de la carrera 15 entre la calle 45 y la avenida Quebradaseca, lo que indica que por ese tramo vial no circula tráfico privado actualmente, ni a futuro en las mallas analizadas de los años 2015, 2020, 2025 2030, debido a la restricción por uso exclusivo de metrolínea por ese corredor, en consecuencia los viajes realizados por los vehículos privados dirigidos hacia ese sector deben tomar vías alternas e incurrir en más tiempo y distancia recorrida para llegar a su destino. Los resultados de cada modelo se encuentran en el ANEXO A, B, C y D.

Figura 8. Resultado TransCad, volumen vehicular de tráfico en el año 2015.

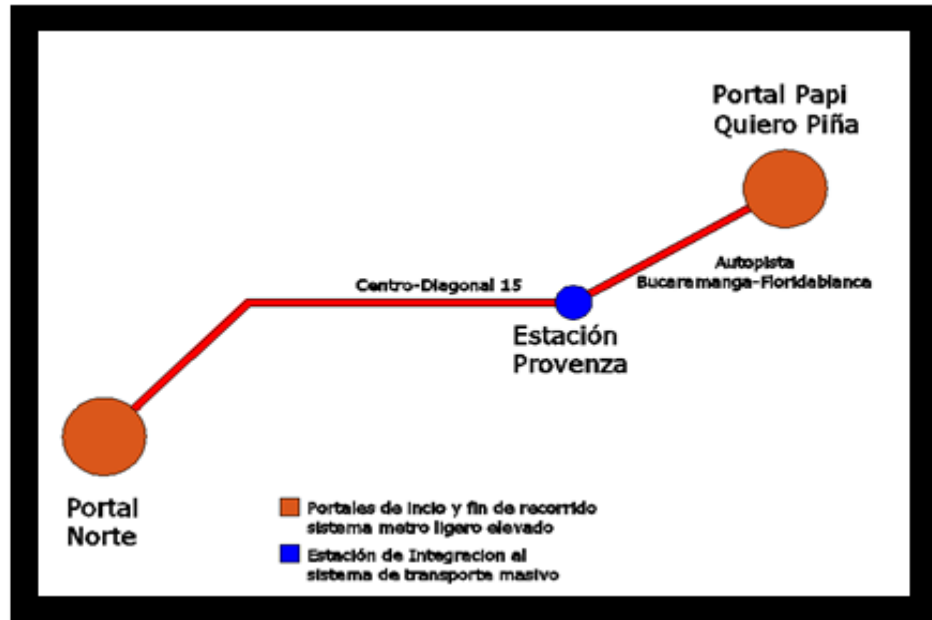


2.3 DESCRIPCIÓN DE LA RUTA SELECCIONADA

Para seleccionar la ruta por la cual se desplazará el sistema de metro ligero elevado propuesto se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el software TransCad sobre el volumen del tráfico vehicular en los diferentes corredores viales del área metropolitana, obteniendo como resultado el corredor vial de la diagonal 15 junto con la autopista Floridablanca-Bucaramanga el más cargado de estos corredores, esto en función de las matrices origen destino que fueron proporcionadas por el grupo de investigación Geomática, con las cuales se calibró el modelo correspondiente a la malla vial vehicular del área metropolitana, dicho corredor contempla la inclusión de los usuarios del norte de Bucaramanga hasta Floridablanca, buscando de esta forma llevar el sistema de metro elevado a los sectores más vulnerables, con el fin de conectar de una forma más ordenada el sector del norte y brindar un beneficio social y económico a la comunidad, a su vez el sistema de metro ligero elevado contempla la integración con el sistema de transporte masivo actual (Metrolínea) el cual se mantiene en esta propuesta conceptual para los demás corredores viales del área metropolitana.

En busca de lograr una mejoría para el actual tráfico del área metropolitana se propone como solución el sistema elevado de metro ligero con el cual se busca permitir la circulación de los vehículos particulares sobre la diagonal 15 y sobre todo el corredor vial por el que actualmente solo circula el actual sistema de transporte masivo, teniendo como referente de inicio y fin de la ruta los portales del Norte y Papi quiero piña respectivamente, buscando de esta forma adherir o retornar el carril que se había segregado para uso exclusivo del transporte masivo al uso de vehículos públicos y privados, buscando así obtener una disminución en el nivel de tráfico en Bucaramanga y su área metropolitana.

Figura 9. Esquema conceptual de ruta seleccionada.



2.3.1 Ubicación de las estaciones del metro ligero elevado

Las estaciones del sistema serán ubicadas de acuerdo a la demanda de pasajeros de tal manera que logre cubrir los viajes deseados por los usuarios, actualmente por el corredor vial se encuentran ubicadas estaciones que hacen parte del sistema integrado de transporte masivo, el lugar de ubicación de la estación se mantendrá para la nueva propuesta del sistema elevado de metro ligero, pues esto asegura que los usuarios ya conocen la ubicación de las paradas, lo que implica que el nuevo sistema no afectaría la ubicación de las estaciones, y garantiza que los usuarios tengan conocimiento del lugar en el cual pueden hacer uso de este, obteniendo un total de 19 paradas distribuidas en el corredor seleccionado.

La ruta seleccionada va desde el Portal Norte hasta el Portal de Papi Quiero Piña, con paradas en las estaciones:

1. Portal Norte
2. Estación La virgen
3. Estación Carrera 15 con calle 8
4. Estación Carrera 15 con calle 15
5. Estación Carrera 15 con calle 18
6. Estación Carrera 15 con calle 22
7. Estación Quebradaseca
8. Estación San Mateo
9. Estación Chorreras
10. Estación La Rosita
11. Estación La Isla
12. Estación Diamante
13. Estación Provenza
14. Estación Payador
15. Estación Hormigueros
16. Estación Molinos
17. Estación Cañaverál
18. Estación Lagos
19. Portal Papi Quiero Piña

El sistema elevado de metro ligero escogido dentro de sus especificaciones técnicas presenta una limitante para trabajar en pendientes, siendo el valor de pendiente máximo de 6%, por tal motivo se debe analizar las pendientes del terreno por el cual se definió la ruta elevada de metro ligero y definir en qué tramos es viable la implementación de dicho sistema, de esta forma se garantiza su correcto funcionamiento.

Se hizo necesario conocer las curvas de nivel del área metropolitana por las cuales se proyectó el trazado de la ruta seleccionada y evaluar las pendientes que presentan para definir si es aceptable para la capacidad técnica del sistema respecto a las pendientes que maneje el eje vial seleccionado.

Tabla 1. Pendientes por tramo de ruta entre estaciones.

TABLA DE PENDIENTES POR TRAMO DE RUTA ENTRE ESTACIONES		
TRAMO	PENDIENTE MEDIA	
Portal Norte-Estación La Virgen	6.18	%
Estación La Virgen-Estación CR. 15 CLL. 8	2.26	%
Estación CR. 15 CLL. 8-Estación CR. 15 CLL. 15	1.95	%
Estación CR. 15 CLL. 15-Estación CR. 15 CLL. 22	0.59	%
Estación CR. 15 CLL. 22-Estación Quebradaseca	0.41	%
Estación Quebradaseca-Estación San Mateo	0.61	%
Estación San Mateo-Estación Chorreras	1.33	%
Estación Chorreras-Estación La Rosita	0.38	%
Estación La Rosita-Estación La Isla	1.20	%
Estación La Isla-Estación Diamante	2.14	%
Estación Diamante-Estación Provenza	0.21	%
Estación Provenza-Estación Payador	0.33	%

Continuación Tabla 1

Estación Payador-Estación Hormigueros	3.61	%
Estación Hormigueros-Estación Molinos	5.45	%
Estación Molinos-Estación Cañaveral	0.45	%
Estación Cañaveral-Estación Lagos	0.34	%
Estación Lagos-Portal Papi Quiero Piña	4.99	%

La topografía del área metropolitana permite la implementación del nuevo sistema en casi toda la totalidad del trazado propuesto, sin embargo para el tramo comprendido entre el Portal Norte y la estación La Virgen el terreno natural presenta pendientes mayores a las contempladas en las especificaciones técnicas del metro ligero elevado que se implementará, lo que impide que el sistema llegue a la zona norte de Bucaramanga, limitando su trazado al tramo comprendido entre la Estación La Virgen y el Portal Papi Quiero Piña.

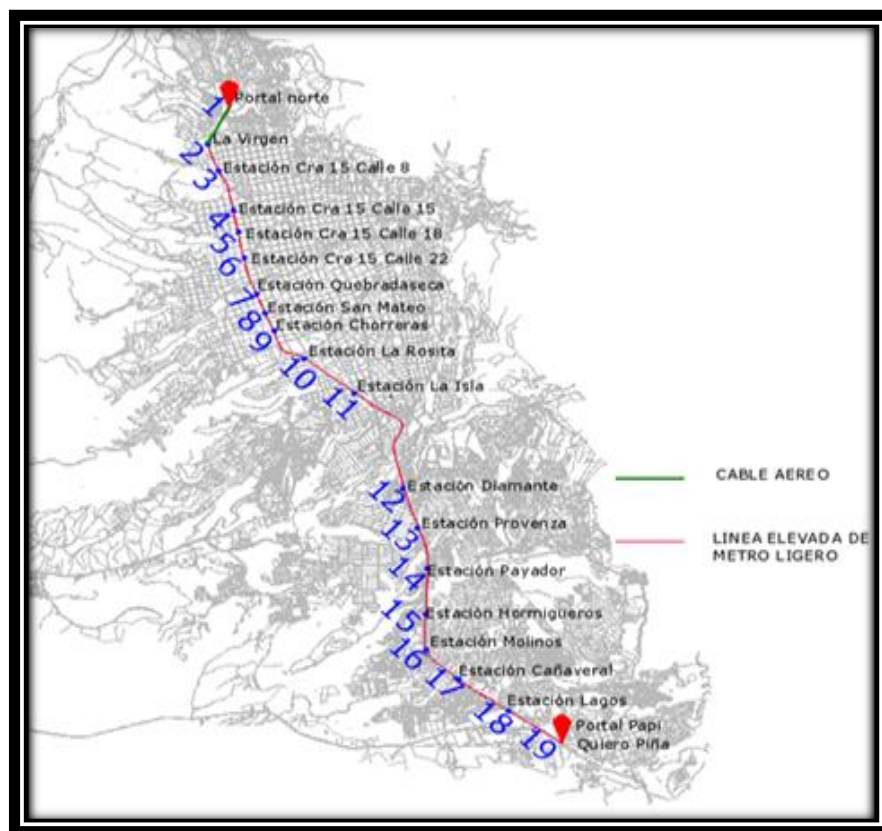
Frente a la imposibilidad técnica de hacer llegar el nuevo sistema al Portal Norte, se plantea una solución que busca conectar este Portal con el metro ligero elevado, para garantizar el acceso de la comunidad ubicada en la zona norte de la ciudad de Bucaramanga.

Se propone una red de cable aérea que integre aquellas zonas de difícil acceso por sus características topográficas. Esta red deberá contemplar igualmente acciones que permitan además de solucionar problemas de movilidad, recuperar o generar espacio público para los habitantes del sector del área Norte de la ciudad, de manera que mejore el entorno y atender otro tipo de necesidades de la población. De esta forma se garantizaría la integración y la rapidez al utilizar los diversos

medios de transporte y un buen desarrollo social de los habitantes de zonas deprimidas de la ciudad.

A continuación se presenta un esquema que permite ubicar las estaciones a lo largo del corredor propuesto Portal Norte-Portal Papi Quiero Piña, incluyendo la red de cable aérea para el tramo Portal Norte - Estación La Virgen.

Figura 10. Esquema de ubicación de las paradas en la ruta seleccionada.



3 ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE ÁREAS PARA DIMENSIONAR LAS ESTACIONES TIPO ACORDE A LA RUTA SELECCIONADA.

Para poder entrar a comprender un funcionamiento de una línea elevada de metro ligero, se debe tener en cuenta las estaciones por las cuales se va a desplazar el sistema y es necesario tener un estimativo de áreas para que la operación de dicho sistema no se vea afectada.

3.1 CONCEPTO DE ESTACIÓN

Una estación es un lugar de parada designado para que los vehículos, en este caso de estudio vehículos de transporte público se detengan para que los pasajeros puedan descender y abordar el mismo de forma segura y cómoda para el usuario, haciendo uso de un lugar específicamente destinado para tal función. La construcción de estaciones busca facilitar al usuario el desplazamiento en los medios de transporte, reduciendo distancias de recorrido de los pasajeros y a su vez evitar confusiones en posibles transbordos.

Las estaciones deben tener en cuenta espacios necesarios para la libre circulación de los usuarios al igual que la longitud requerida para que el vehículo pueda hacer su parada, teniendo en cuenta el número máximo de vehículos que pueden estar simultáneamente y la longitud de los mismos; debe tener la información necesaria para que el usuario sepa cuando y donde su ubica, así como de los servicios de que dispone, dando informaciones generales, del sistema, sobre las rutas, acerca de las paradas e información sobre el vehículo.

Se conoce como estaciones de paso aquellas en las cuales el sistema continúa su recorrido en ruta hacia una estación siguiente, estaciones terminales aquellas

donde hace cierre de un circuito una unidad de transporte, y una estación de transferencia es aquella infraestructura diseñada para facilitar el intercambio de pasajeros bien sea con el mismo medio de transporte (metro-metro), o entre varios medios de transporte (metro-autobús; metro-cable aéreo) [1]

El dimensionamiento de las estaciones de parada debe estar de acuerdo a las normas vigentes y el plan de ordenamiento territorial POT. y de servicios públicos de la ciudad, así como, el del uso del suelo urbano que se requiera, con este fin se debe prestar especial atención al momento de dimensionar una estación de parada de transporte público, logrando de esta forma que su capacidad no se encuentre superada pues esto acarrea problemas significativos de orden vial a los usuarios y al mismo sistema de transporte público; el tamaño y capacidad de una estación están en función de la forma de llegada y en la demanda de los usuarios, entendiéndose por forma de llegada a la longitud necesaria que refleje el número de vehículos que se requiere acomodar simultáneamente en la hora máxima de demanda , así como los requerimientos para de maniobra para entrar y salir del vehículo, dependiendo del tipo de parada que se requiera.

3.1.1 Requerimientos de una estación

Para diseñar una estación se deben tener en cuenta los requerimientos de los usuarios, del prestador de servicio y de la comunidad a la cual se le quiere brindar el servicio. Como primera medida se le debe dar solución a los usuarios a quienes les va interesar que el tiempo de recorrido sea mínimo, siendo este, el tiempo, el factor más importante para brindar un buen nivel de servicio, de igual forma se debe buscar que exista un ambiente favorable para el usuario al usar la estación, que pueda orientarse y contar con patrones de circulación adecuados, que cuente con la adecuada capacidad y un fácil ascenso y descenso de pasajeros.

Una estación debe proveer al usuario la comodidad a través de un diseño adecuado y funcional, protegido de la intemperie y con un uso mínimo de escaleras, sin embargo para el caso de estudio de un metro ligero elevado, se hace indispensable la adecuación de escaleras ascensores y rampas de acceso para los usuarios del nuevo sistema. Contar con la seguridad y vigilancia que brinda un espacio cubierto y resguardado al igual que una adecuada iluminación y visibilidad, todo esto buscando que la comunidad tenga acceso a un sistema eficiente, correctamente aprovechado, y que acarree efectos positivos para la sociedad.

3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES

3.2.1 Demanda de pasajeros

Las estaciones se diseñan con base en los datos de pasajeros que van a hacer uso de las mismas y un espacio mínimo vital de movilidad, por esta razón se hace necesario tener un estimativo de pasajeros que circulan en las estaciones del sistema.

Actualmente las estaciones del sistema integrado de transporte masivo (Metrolínea) presentan un buen índice de servicio a la comunidad y su diseño permite la circulación de los pasajeros, por tal motivo se tomó el estudio hecho por el equipo de diseño Urbano y Arquitectónico, Sistema Integrado de Transporte Masivo Metropolitano de la Universidad Industrial de Santander de pasajeros que suben y bajan de las estaciones en horas pico para dar un dimensionamiento de las nuevas estaciones del sistema elevado de metro ligero.

Tabla 2. Número de personas horas pico.

ESTACION	SUBEN	BAJAN	PROMEDIO MINUTO
PIEDRECUESTA	2633	2012	44 P/m
PQP	825	845	14 P/m
CAÑAVERAL	2930	2254	49 P/m
PROVENZA	3557	1660	59 P/m
KENNEDY	760	518	13 P/m
GIRON	1142	318	19 P/m

Fuente: Equipo de diseño Urbano y Arquitectónico, Sistema Integrado de Transporte Masivo Metropolitano Universidad Industrial de Santander.

Teniendo en cuenta las áreas ocupadas por persona de acuerdo a los estándares internacionales empleados en Sistemas de Transporte Masivo una persona de pie ocupa 0.30 m². Y la distancia mínima para circulación por persona es 0.60 m. teniendo en cuenta estos valores estandarizados, se procede a dar un estimativo de áreas mínimas que necesita una estación para su operación y libre circulación.

3.2.2 Elementos de una estación

Una estación se compone de varios elementos, siendo los principales:

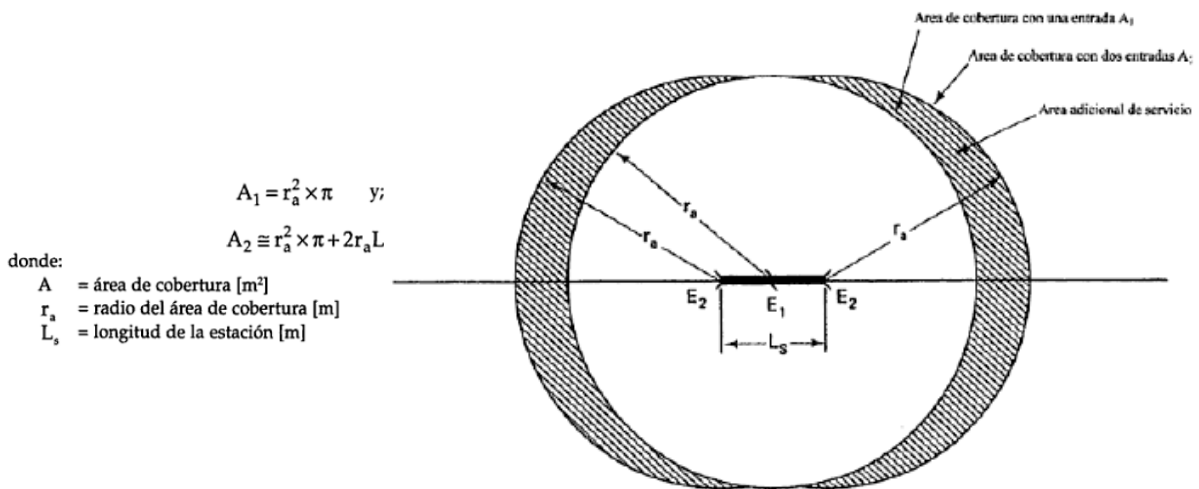
- Accesos
- Pasillos
- Escaleras

- Elevadores
- Taquillas
- Vestíbulo de espera

3.2.2.1 Accesos

Según el número de usuarios que integren el sistema de transporte público se darán las áreas y los accesos de estas, de esta forma se podrán identificar estaciones de uno o más accesos según sea necesario en el caso de estudio del área en la cual se ha ubicado la estación y según la literatura se muestran accesos sencillos o dobles según sea el espacio que haya entre estaciones buscando captar el mayor número de usuarios respectivamente, esto se llama área de cobertura para accesos dobles o sencillos respectivamente.

Figura 11. Áreas de cobertura para estaciones de acceso sencillo A1 o acceso doble A2.



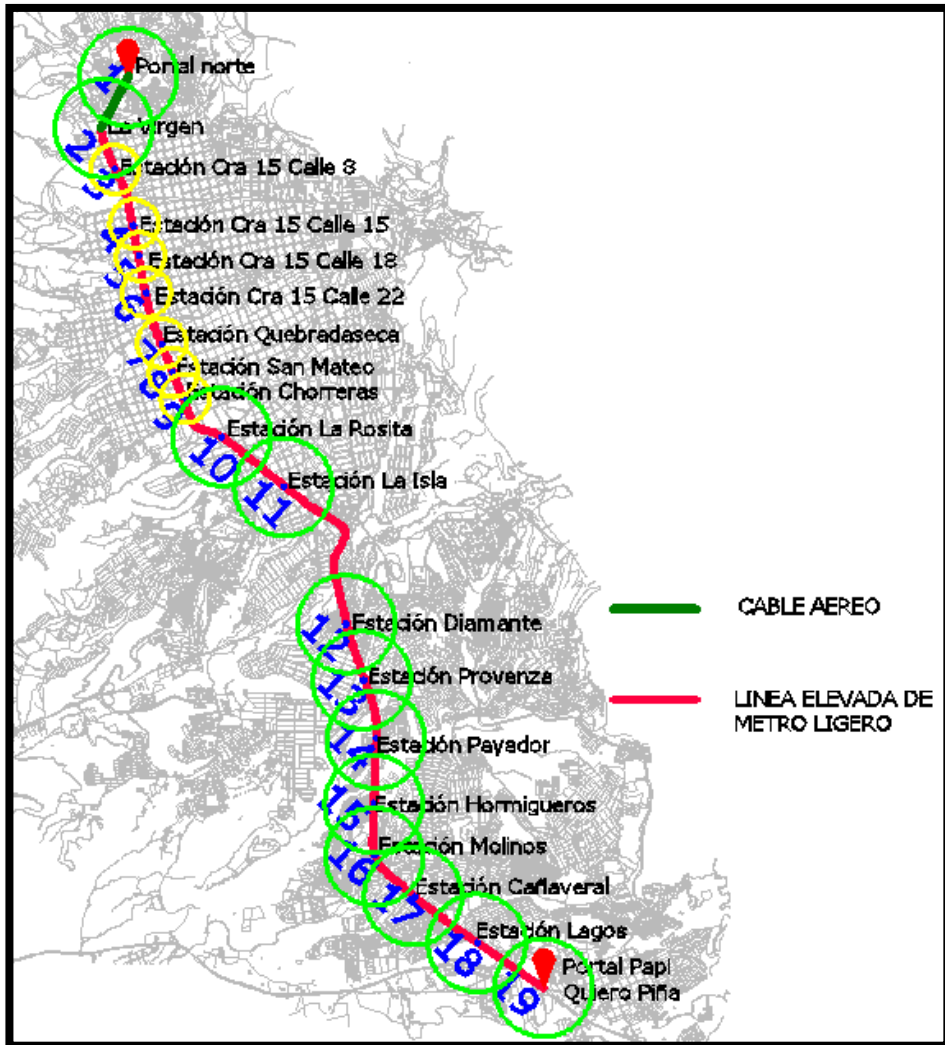
Fuente: Transporte público: Planeación, Diseño, Operación y Administración, Ángel R. Molinero Molinero y Luis Ignacio Sánchez Arellano, pag.140.

La figura anterior muestra dos ejemplos del área de cobertura de una estación con acceso sencillo y con un acceso doble, para el caso del sistema elevado de metro ligero se tienen que para las estaciones centrales es recomendable tener dos accesos pues su área de cobertura debe ser mayor, mientras que las estaciones laterales se pueden ubicar con un solo acceso pues su área de cobertura es menor.

Para el caso de estudio de una línea elevada de metro ligero en el área metropolitana de Bucaramanga se consideraran las estaciones ubicadas entre La Estación la Virgen y La Estación la Rosita estaciones de un solo acceso pues su radio de cobertura de es 250 metros, y al localizarse estas estaciones más cercanas entre sí, su capacidad para recibir usuarios se puede disminuir puesto que otra estación cercana puede recibir usuarios de su área de cobertura.

Por otro lado las estaciones Portal Norte y La Virgen, al igual que las comprendidas entre la estación La Rosita y El Portal Papi Quiero Piña se encuentran más distantes entre sí, por tal motivo estas estaciones son de dos accesos, pues deben tener mayor capacidad de recibir a ya que su área de cobertura debe ser mayor de manera tal que logre abarcar la totalidad o gran parte de la totalidad de la ruta propuesta, por tal motivo se propone que el radio de cobertura sea de 500 metros para poder captar la mayor cantidad de usuarios.

Figura 12. Áreas de cobertura de estaciones tipo laterales y centrales.



3.2.2.2 Pasillos

Los pasillos se considerarán en las estaciones centrales y para ello su dimensionamiento debe estar acorde al movimiento esperado y una adecuada canalización de los espacios de circulación de los usuarios, teniendo en cuenta los casos de transferencias y acceso a las estaciones.

Para calcular la capacidad máxima previsible de un pasillo se hace necesario conocer el número de usuarios en la hora de mayor demanda, u hora pico, teniendo en cuenta una velocidad pues cabe resaltar que a mayor velocidad de marcha del usuario, su densidad será menor, la densidad de un pasillo será previsiblemente menor a la del vestíbulo de espera, pues a la hora de espera la concentración momentánea de pasajeros aumenta por m².

Es importante conocer con certeza el movimiento máximo esperado que pueda tener la estación para su correcto funcionamiento, sin embargo esto depende de valores difíciles de cuantificar a futuro, como lo es la población beneficiada, la atracción directa o indirecta, o el uso del suelo predominante del área circundante, y horario de trabajo.

Para mantener un buen flujo de pasajeros y basados en la literatura existente, se propone un área de pasillos de 2.60 metros teniendo en cuenta los 0.60 metros para la circulación de cada persona.

A continuación se muestra la tabla referencia con los niveles de servicio planteados por el ingeniero Rafael Cal y Mayor en su libro ingeniera de tránsito.

Tabla 3. Niveles de servicio para tránsito peatonal

Nivel de Servicio	Volumen de Servicio (peat/min/m)	m ² por Peatón	Velocidad mínima de operación	
			m/min	km/h
A	22	3.5	77	4.6
B	30	2.5	75	4.5
C	46	1.5	69	4.1
D	62	1	62	3.7
E	81	0.5	40	2.4
F	Variable	< 0.5	< 40	< 2.4

Fuente: INGENIERIA DE TRANSITO Fundamentos y Aplicaciones, Rafael Cal y Mayor, James Cárdenas G. Pág. 41, Editorial AlfaOmega

Para dar la capacidad de los pasillos se tiene en cuenta que la distancia mínima por persona es de 0.60 metros, lo cual da un número de 4 espacios para transitar por el ancho de 2.60 metros y un nivel de servicio que de un volumen de peatones de aproximadamente 80 personas por minuto.

Ancho de Pasillo: 2.60 Mts.

Distancia mínima por persona: 0.60 Mts.

Número de personas por minuto: 80 Per/min.

$4(\text{espacios de } 0.60 \text{ Mts}) \times 800 = 320 \text{ personas}$

La capacidad de los pasillos de las estaciones debe ser de 320 personas para un ancho de pasillo de 2.60 metros.

3.2.2.3 Escaleras

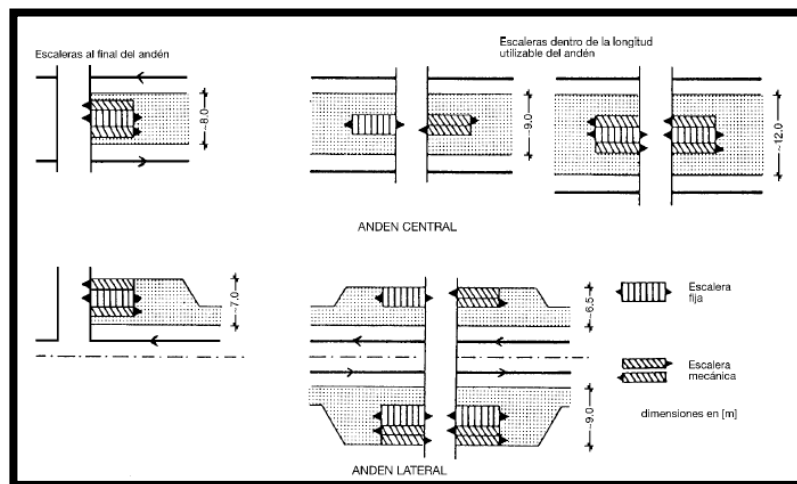
Las diferencias de nivel en las estaciones se salvan mediante escaleras fijas o mecánicas, o mediante elevadores, para el nuevo sistema se plantean ambos tipos de escaleras (fijas y mecánicas), cuidando que estas no deben ser extremadamente largas y llegado el caso de serlo, se recomienda un descanso entre estas, como recomendación extra se trata que el número máximo de escalones sea de 20 peldaños, evitando de igual forma tramos muy cortos de dos o tres escalones, los cuales no son prácticos y se podrían suprimir por rampas.

Si se van a implementar ambos tipo de escaleras, entonces es recomendable eliminar el descanso de las escaleras fijas para no interrumpir la línea de las escaleras mecánicas, en todo caso los anchos de las escaleras no deben ser menores de 1.60 metros y en caso de tener 4.50 metros o más deben tener un pasamanos central.

En caso de estaciones con diferencias de nivel medianas o grandes se recomienda el uso principalmente de elevadores o escaleras mecánicas, como lo es el caso de las estaciones de metro ligero elevado, la tendencia actual es llevar al usuario desde el andén hasta el vestíbulo de espera mediante tramos de escaleras mecánicas.

Al momento de proyectar escaleras mecánicas de un solo tramo se debe prever que se logran estandarizar escaleras de hasta 12 metros de profundidad, en este caso daría en altura y con un ángulo de inclinación que varía entre 27 y 30 grados, siendo el más común el de 30 grados puesto que con ángulos de 35 grados o mayores algunos usuarios pueden presentar la sensación de vértigo. Los anchos de una escalera mecánica pueden variar entre 0.60 metro y 1.20 metros, pero el valor de 0.60 metros solo debe ser tomado en cuenta que el diseño de la estación obligue a ello, es preferible un ancho 1.20 metros el cual permite cómodamente dos filas de usuarios por sentido, lo cual permite que el lado derecho sea utilizado por usuarios que deseen hacer el recorrido parados y el lado izquierdo por lo tanto se trataría como tramo libre para que otros usuarios suban o bajen los escalones mientras está en marcha la escalera.

Figura 13. Ubicación de escaleras en andenes laterales y centrales.



Fuente: Joachim Fiedler. *Grundlagen der Bahntechnik*. Düsseldorf: Werner-Verlag.

Una escalera mecánica transporta en promedio 100 pasajeros por minuto, siendo su capacidad de línea de 11000 pasajeros por hora, si se desea manejar un mayor volumen de pasajeros es recomendable instalar tres líneas de escaleras, una de subida, una de bajada, y la tercera ajustable a la demanda.

3.2.2.4 Elevadores

Los elevadores propuestos para funcionar en las estaciones de metro ligero elevado tienen como principal propósito movilizar personas discapacitadas, y como tal esta propuesto su funcionamiento en el nuevo sistema y generalmente se instalan como complemento a las escaleras mecánicas siempre buscando ser de apoyo para la población minusválida.

Como un espacio mínimo del interior del ascensor deben ser 1.00 metros de fondo 1.20 metros de ancho, para permitir alojar una silla de ruedas y un eventual acompañante, se puede tomar como referencia alguna marca existente en el mercado para tener un valor más aproximado a la realidad en cuanto a las áreas mínimas necesarias para llevar a cabo la implementación del sistema de elevadores, a continuación se referencia un tipo de elevador Mitsubishi P8 con sistema de apertura central y contra peso posterior el cual tiene unas dimensiones mínimas del hueco de 1.75 metros de ancho y 1.59 metros de fondo, con lo cual se cumplen las dimensiones mínimas internas de la cabina

Tabla 4. Dimensiones mínimas de elevadores Mitsubishi, caso de referencia P8-CO

Número de código	Número de personas	Capacidad nominal (kg)	Velocidad nominal (m/seg.)	Tipo de puertas	Ancho de entrada (mm) JJ	Dimensiones interiores de la cabina (mm) AA×BB	Posición de contrapeso	Dimensiones mínimas del hueco/hoistway (mm) AH×BH	Dimensiones mínimas de la sala de máquinas (mm) AM×BM
P6	6	450	1.0	CO	800 ¹⁾	1400×850	Posterior	1750×1400	1850×2700
				2S	800	1100×1100	Lateral ²⁾	1800×1530	1850×2050
							Posterior ²⁾	1600×1750	1800×2980
P8	8	550	1.0 1.75	CO	800 ¹⁾	1400×1030	Posterior	1750×1590	1850×2900
				2S	800	1100×1400	Lateral ²⁾	1800×1830	1850×2200
					800 ¹⁾	1400×1030 ²⁾	Posterior ²⁾	1600×2050	1800×3280
P10	10	700		CO	800 ¹⁾	1400×1250	Lateral	2100×1460	2100×2050
P11	11	750		2S	800 ¹⁾	1350×1400	Lateral	2100×1600	2100×2050
							Posterior	1750×1810	1850×3100
							Lateral	2050×1830	2050×2200

Fuente: Mitsubishi Electric Ascensores de pasajeros.

Las plataformas de ascenso y descenso deben ser amplias, al menos dos veces y media la capacidad de los elevadores, para el caso de estudio, se proponen ascensores para 8 personas, con lo cual los espacios de plataforma deberían ser para 12 personas, lo cual conlleva a una rápida y fácil comunicación hacia los vestíbulos o pasillos de acceso a la salida.

3.2.2.5 Taquillas

Para el manejo de áreas de las taquillas se debe tener en cuenta que las dimensiones de estas deben ser las mínimas posibles para su uso pero prestando el servicio al mayor número de usuarios posible, se deben manejar áreas mínimas entre 1.50 a 1.80 metros por 2.50 a 3.00 metros, los cuales permiten colocar el mayor número posible de taquillas en el menor espacio, con lo cual se debe aprovechar espacios para pasillos para lograr un tráfico independiente de usuarios.

3.2.2.6 Vestíbulo de espera

El tipo de vestíbulo de espera depende del trazado que se le ha dado al sistema, clasificándolos como superficiales y subterráneas, para el caso de estudio se tiene un vestíbulo de espera superficial de estación elevada.

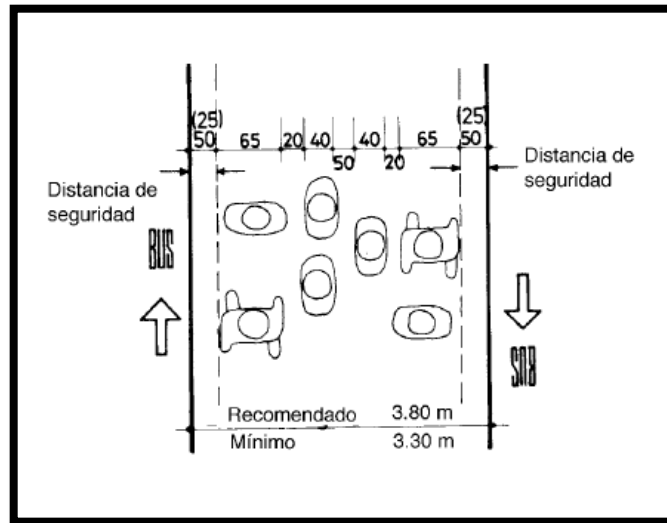
Los vestíbulos en superficie suelen consistir en formar parte de un edificio. Dicho vestíbulo se aloja generalmente en líneas elevadas a un lado o por encima de las vías, por lo general se accede a este vestíbulo mediante amplias zonas de escaleras mecánicas o elevadores, siempre teniendo en cuenta que deben contar con la vigilancia necesaria para la seguridad de los usuarios, sobre todo en las horas de baja demanda, estas áreas de vestíbulos deben considerarse entre sus funciones más importantes las de alojar también los sistemas de venta y recolección de boletos, al igual que brindar el resguardo y la seguridad para la espera del sistema de transporte.

Las instalaciones de vestíbulo deben ser lo suficientemente amplias para dar una fluidez a los usuarios y absorber las máximas demandas de pasajeros, al ocupar espacios las taquillas, los torniquetes, se hace necesario conocer el número máximo de usuarios para calcular su área más favorable, es por esta razón que conociendo el número de usuarios máximos por hora en las estaciones, dando la estación de Provenza como la que más usuarios por hora pico maneja se procede a dar una dimensión del vestíbulo de espera con los datos proporcionados de 59 pasajeros por minuto por el “Equipo de diseño Urbano y Arquitectónico, Sistema Integrado de Transporte Masivo Metropolitano Universidad Industrial de Santander.”, con lo cual se diseña un área para un nivel de servicio E lo cual nos da una capacidad de 80 pasajeros por minuto, logrando un superávit de 21 pasajeros por minuto.

Para dar la capacidad del vestíbulo se tiene en cuenta que la distancia mínima por persona es de 0.60 metros, lo cual da un numero de 6 espacios para transitar por el

ancho de 3.60 metros y un nivel de servicio que de un volumen de peatones de aproximadamente 80 personas por minuto.

Figura 14. Dimensionamiento de vestibulos de espera



Fuente: Transporte público: Planeación, Diseño, Operación y Administración, Ángel R. Molinero Molinero y Luis Ignacio Sánchez Arellano, pag.135.

Ancho de Vestíbulo: 3.60 Mts.

Distancia mínima por persona: 0.60 Mts.

Número de personas por minuto: 80 Per/min.

6(espacios de 0.60 Mts) X 80 = 480 personas

La capacidad de los pasillos de las estaciones debe ser de 480 personas para un ancho de pasillo de 3.60 metros.

3.3 TIPOS DE ESTACIONES

Para la línea elevada de metro ligero a implementar se presentan dos tipos estaciones, laterales y centrales, principalmente partiendo desde el punto de vista

de impacto visual que tendrían estas mismas en las áreas ser ubicadas, sean residenciales o comerciales o de cualquier otro tipo contempladas en el plan de manejo territorial.

Para las estaciones laterales se contempla las adquisiciones de predios para poder implementar su construcción y posterior operación, por otro lado las estaciones centrales serán ubicadas en el eje central vial donde actualmente se encuentran ubicadas algunas de las estaciones del actual sistema de transporte.

3.3.1 Estaciones laterales

Las estaciones laterales están propuestas para recibir a los usuarios en aquellas áreas en la que la construcción de una estación central elevada podría implicar un alto impacto visual por la proximidad de los edificios aledaños, este tipo de estaciones están contempladas entre la Estación de la Carrera 15 Calle 8 y la Estación de Chorreras.

Figura 15. Ubicación de estaciones laterales



Las estaciones laterales deben contener los requerimientos anteriormente mencionados, como lo son los accesos, pasillos, escaleras, elevadores, taquillas y vestíbulo. Estas estaciones tienen una afectación predial por lo cual se deberán adquirir ciertos terrenos para lograr su construcción.

Las áreas mínimas que deben manejar las estaciones laterales para así cumplir con los requisitos necesarios, teniendo en cuenta que la longitud del vagón a manejar de 27 metros de largo, por lo tanto para un margen de maniobra se debe tomar como medida de longitud de las estaciones 30 metros para poder cumplir con los requisitos.

Tabla 5. Áreas estaciones laterales.

Áreas mínimas Estación Lateral		
Accesos	2.60	m2
Pasillos	78.00	m2
Escaleras	36.00	m2
Elevadores	2.80	m2
Taquillas	5.40	m2
Vestíbulo de espera	108.00	m2
AREA TOTAL	232.80	m2

A continuación se muestra una idea de cómo podrían ser las estaciones laterales mencionadas.

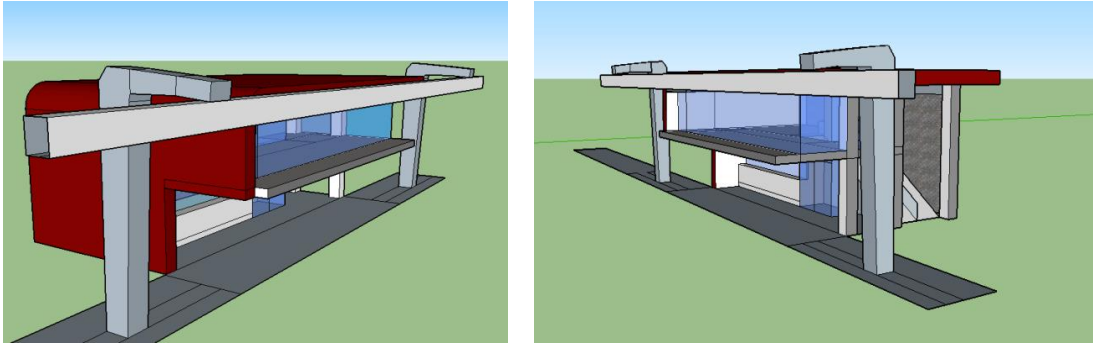


Figura 16. Estaciones laterales, vista lateral.

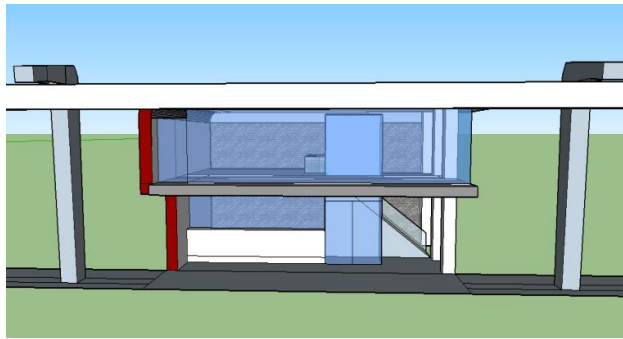


Figura 17. Estación lateral, vista frontal.

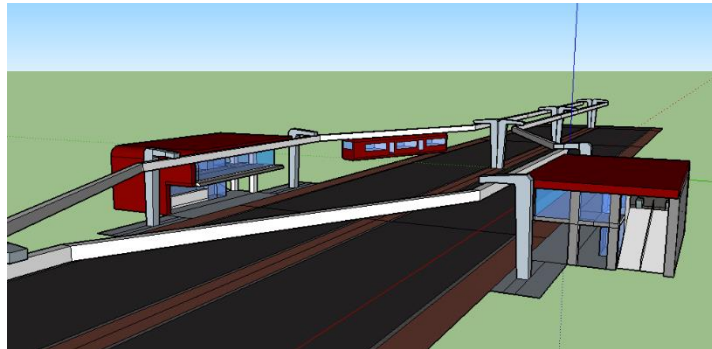


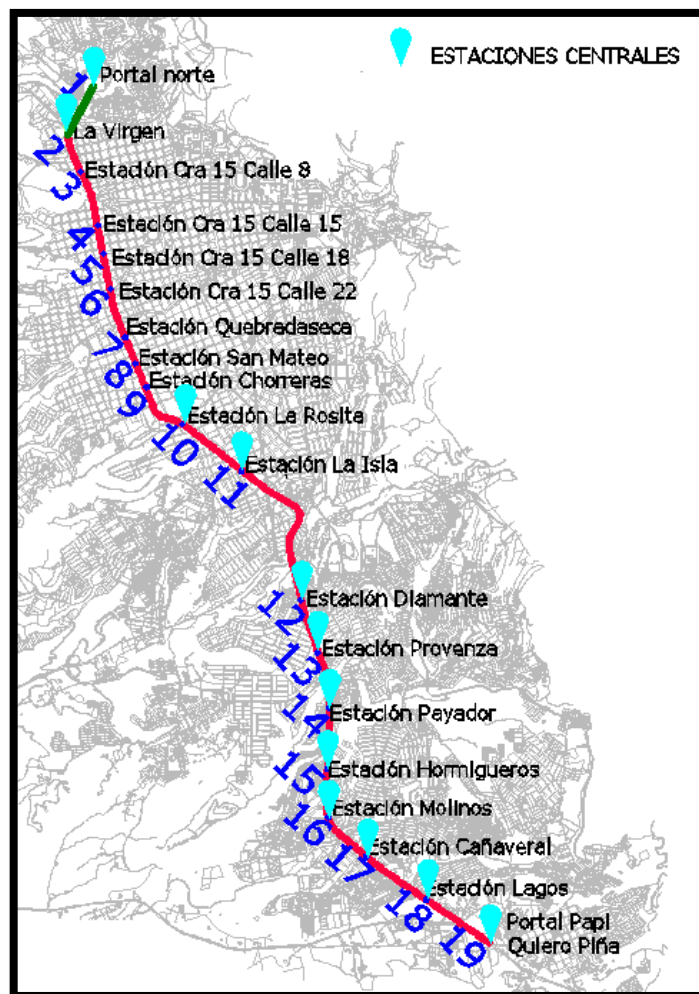
Figura 18. Estaciones laterales, vista completa.

3.3.2 Estaciones centrales

Las estaciones centrales propuestas estarán ubicadas en el mismo lugar en el que actualmente se encuentran ubicadas las estaciones del sistema de transporte masivo pero su ubicación será elevada para el nuevo sistema.

Estas estaciones serían las estaciones del Portal Norte y la Estación La Virgen, y el tramo de estaciones comprendidas entre la Estación la Rosita y el Portal Papi Quiero Piña.

Figura 19. Ubicación de estaciones centrales.



Al igual que las estaciones laterales, las estaciones centrales debe contar con los requisitos de una estación, siendo estos, los accesos, pasillos, escaleras, elevadores, taquillas y vestíbulo, estas estaciones no consideran una afectación predial diferente a la que tiene el actual sistema de transporte masivo para la ubicación de sus estaciones, pero a la hora de ubicar los puentes y áreas requeridas para los accesos, estos podrían acarrear alguna afectación predial.

Las áreas mínimas que deben manejar las estaciones centrales para así cumplir con los requisitos necesarios, teniendo en cuenta que la longitud del vagón a manejar de 27 metros de largo, por lo tanto para un margen de maniobra se debe tomar como medida de longitud de las estaciones 30 metros para poder cumplir con los requisitos.

Tabla 6. Áreas estaciones centrales.

Áreas mínimas Estación Central		
Accesos	5.20	m2
Pasillos	156.00	m2
Escaleras	72.00	m2
Elevadores	2.80	m2
Taquillas	5.40	m2
Vestíbulo de espera	108.00	m2
AREA TOTAL	349.40	m2

A continuación se muestra una idea de cómo podrían ser las estaciones centrales mencionadas.

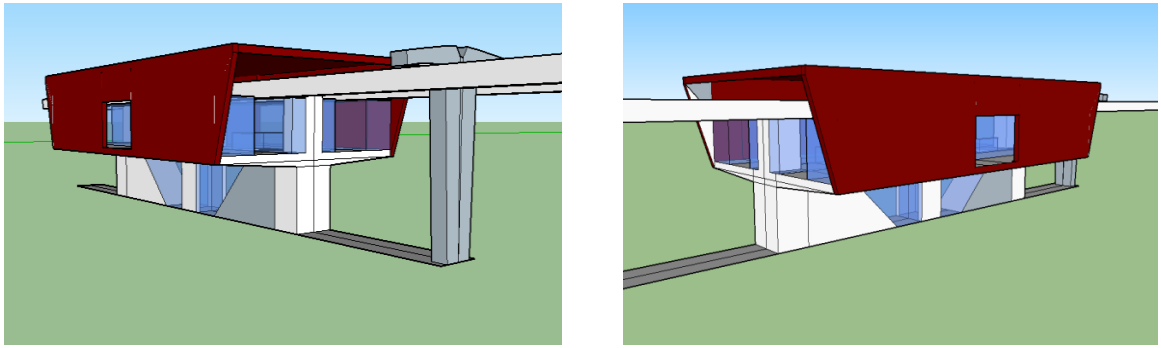


Figura 20. Estaciones centrales, vista lateral.

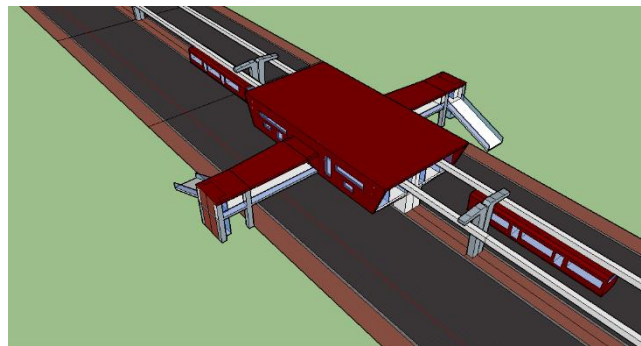


Figura 21. Estación central, vista superior.



Figura 22. Estación central, vista completa.

4 NUEVO ESCENARIO DE MOVILIDAD EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

El actual sistema de transporte masivo contempla el uso de carril exclusivo en ciertos corredores viales del área metropolitana, lo que indica una segregación del carril destinado para el tráfico privado y entregado al tráfico público representado en metrolínea.

El actual caso de estudio contempla el corredor de la carrera 15 iniciando en el municipio de Bucaramanga en la calle 3 en el sector conocido como La Virgen y continúa por la misma carrera hasta empatar con la diagonal 15, siguiendo a la autopista Bucaramanga – Floridablanca hasta la calle 200 en el sector del portal Papi Quiero Piña en el municipio de Floridablanca.

Al implementarse un sistema elevado de metro ligero por dicho corredor, se busca liberar los carriles de uso exclusivo del actual sistema de transporte masivo y devolver su uso al tráfico privado del área metropolitana, en especial el tramo vial de la carrera 15 comprendido entre la Avenida Quebradaseca y la calle 45 el cual se encuentra con dos carriles en cada sentido de uso exclusivo de metrolínea, y el tramo vial comprendido de la Diagonal 15 y Autopista Bucaramanga – Floridablanca comprendido entre la calle 45 del municipio de Bucaramanga y la calle 200 en el sector de Papi Quiero Piña del municipio de Floridablanca en el cual se encuentra un carril en cada sentido de uso exclusivo de Metrolínea.

4.1 INDICADORES DEL TRÁFICO

Para cada escenario (situación actual y nuevo sistema) y para cada año se calcularon indicadores del tráfico. Los cuales consistieron en la distancia recorrida (VDT) y el tiempo de viaje (VHT) de los vehículos particulares consignados en la matriz origen – destino y expresados, respectivamente, en kilómetros y horas. Con estos dos indicadores se pretende mostrar el grado de efectividad de la nueva propuesta en el tráfico vehicular privado del área metropolitana de Bucaramanga.

4.2 GRADO DE EFECTIVIDAD

Posteriormente, para cada uno de los años futuros (2020, 2025, 2030) de los escenarios (1 y 2), se calculó la reducción porcentual de cada indicador del tráfico con respecto a su valor para el mismo año, pero en el escenario uno. Encontrando una reducción del VHT y del VDT, Finalmente, la magnitud de la reducción de los indicadores de tráfico, en el orden señalado, definió el grado de efectividad de los distintos escenarios para cada uno de los años.

Tabla 7. Grado de efectividad VHT y VDT.

		ESCENARIO	
AÑO	INDICADOR	1	2
2020	VHT	970570.69	948702.44
	% VHT		2.25%
	VDT	371467.07	362096.84
	% VDT		2.52%
2025	VHT	2734128.83	2560397.58
	% VHT		6.35%

Continuación Tabla 7

	VDT	697250.58	682135.03
	% VDT		2.17%
2030	VHT	19366097.3	16993543
	% VHT		12.25%
	VDT	1460478.91	1384696.02
	% VDT		5.19%

5 CONCLUSIONES

Al concluir el presente estudio, se logró desarrollar un modelo de asignación de tráfico para Bucaramanga y su área metropolitana, que permitió analizar el conflicto vial de la región y evaluar el impacto que tendría una línea elevada de metro ligero en el sistema de transporte particular dentro de los próximos quince años.

Según el modelo del nuevo sistema de metro ligero elevado se puede apreciar una leve mejoría en los indicadores del tráfico respecto a la distancia recorrida y al tiempo de viaje de todos los vehículos privados que hacen parte de la malla vial del área metropolitana de Bucaramanga.

Además de buscar alternativas como la propuesta en el caso de estudio de una línea elevada metro ligero, se deben también tener en cuenta otras medidas que permitan descongestionar los corredores viales del área metropolitana, entiéndanse estas medidas como implementación de pico y placa, mejorar la conciencia ciudadana del uso del transporte público, vehículo compartido y todas aquellas que busquen dar una mejor movilidad.

Adicionalmente, se recomienda evaluar otros corredores viales que revistan importancia para el área metropolitana de Bucaramanga, como el caso de la carrera 33 y la carrera 27, haciendo una evaluación completa de como impactaría una línea elevada de metro ligero en estos tramos viales.

Es importante mencionar que la validez de los modelos de asignación de tráfico está altamente ligada a la calidad y a la cantidad de la información existente, por lo que, en aras de obtener un modelo más próximo a la situación real del área metropolitana de Bucaramanga, se debe partir por recopilar más y mejores datos acerca del transporte en la región

REFERENCIAS

- [1] DIRECCIÓN DE TRANSITO DE BUCARAMANGA. Informe de gestión enero a noviembre 23. 2014.
- [2] SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO METROLINEA. Boletín No. 979 18 de Febrero de 2013,-pp (1-2).
- [3]ORÍGENES DEL FERROCARRIL introducción histórica. Disponible en: <http://gitel.unizar.es/>
- [4] TERMINOLOGÍA DE TRANSPORTE FERROVIARIO: transporte ferroviario de pasajeros. Disponible en: <http://datateca.unad.edu.co/>
- [5] THE MONORAIL SOCIETY: Disponible en: <http://www.monorails.org>
- [6] TERMINOLOGÍA DE TRANSPORTE FERROVIARIO DE PASAJEROS: Disponible en: <https://es.wikipedia.org/>
- [7] ASOCIACIÓN LATINO-AMERICANA DE SISTEMAS INTEGRADOS Y BRT (SIBRT). Disponible en: <http://www.sibrtonline.org/es/fichas-tecnicas/metrolinea/>
- [8] H-BAHN21. Monorriel Dusseldorf, Disponible en: <http://www.h-bahn.info/>
- [9] Monorriel Wuppertal, Alemania: <http://www.schwebebahn.de/en/> [consultado 06 de Octubre de 2015]

- [10] Monorriel Las Vegas, USA:
<http://www.bombardier.com/en/transportation/projects/project.innovia-las-vegas-usa.html?f-region=americas&show-by-page=50&page=1&f-country=us&f-segment=all&f-type=all&f-name=all> [consultado 06 de Octubre de 2015]
- [11] http://www.amb.gov.co/observatorio2/indicadores/sector_social/paginas/1.EstimPoblacionyproy.php [consultado el 02 de octubre del 2015]
- [12] “Diagnóstico de la situación actual” en Consultoría para el análisis de la situación actual y futura del transporte masivo y transporte colectivo complementario del área metropolitana de Bucaramanga. Área Metropolitana de Bucaramanga-UIS.Bucaramanga. 2011. Pág. 71–72.
- [13] Elaboración de la matriz actual origen–destino de viajes y diseño de rutas para las fases II, III y IV del sistema Metrolínea.
- [14] <http://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/2008/ConsultoriaCapacitacionTransCAD.pdf> [consultado el 02 de octubre del 2015]

BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, Jorge. El transporte como soporte al desarrollo de Colombia: Una Visión 2040. Santafé de Bogotá, 2009, 300p. Trabajo de investigación. (C.E., MSc. Profesor Asociado. Investigador del grupo TESO). Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER; SOCIEDAD SANTANDEREANA DE INGENIEROS, SSI. Plan Maestro de Movilidad del área metropolitana de Bucaramanga 2011 -2030. Bucaramanga: División de publicaciones UIS, 2010.

Jans B. Margarita, 2009, Movilidad urbana: en camino a sistemas de transporte colectivo integrados, Revista AUS, num.6, p 6-11. Universidad Austral de Chile, Chile.

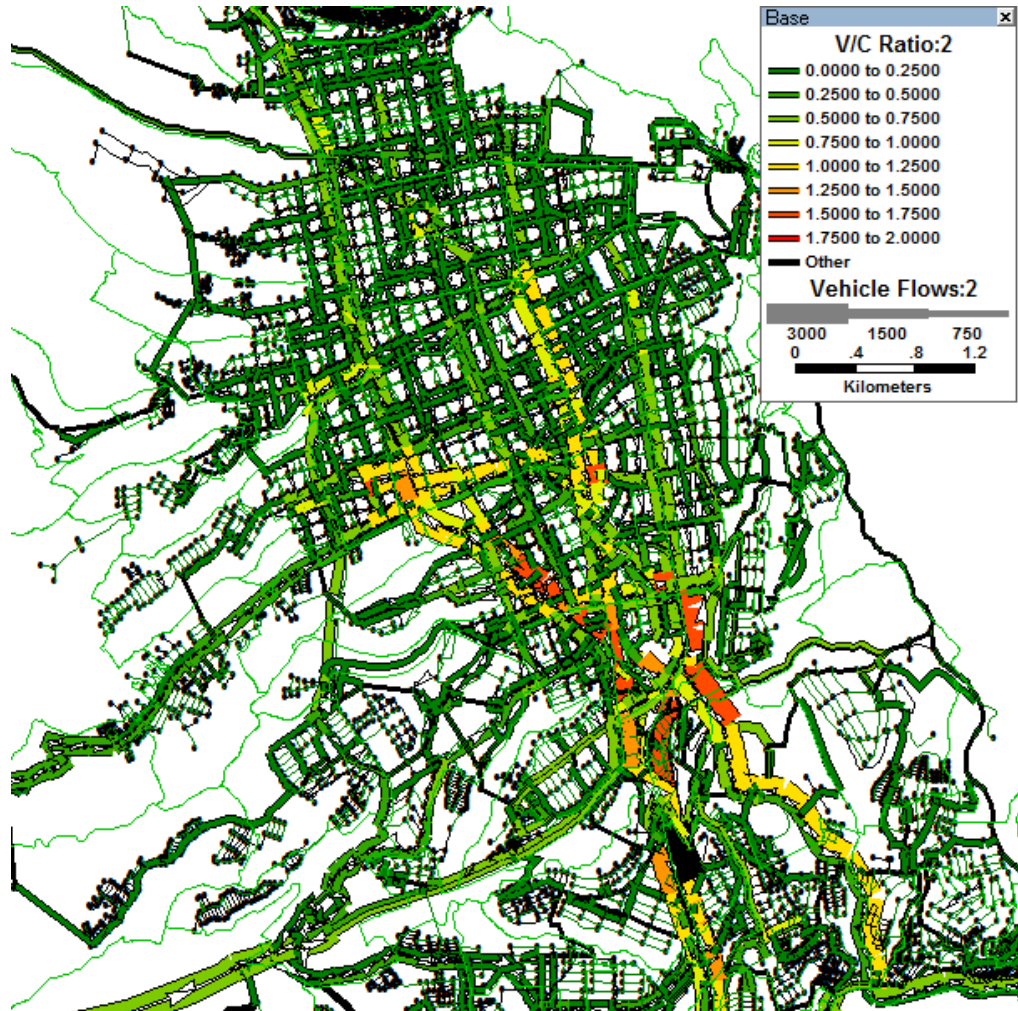
DIRECCIÓN DE TRANSITO DE BUCARAMANGA: Informe de gestión enero a noviembre 23 año 2014

www.metrolinea.gov.co . Boletín No. 979, Bucaramanga, 13 de octubre de 2013. Pág. 1- 2.

Molinero, A. y Sánchez, L. 2011”Transporte público: Planeación, Diseño, Operación y Administración” Universidad Autónoma de México, México.

ANEXOS

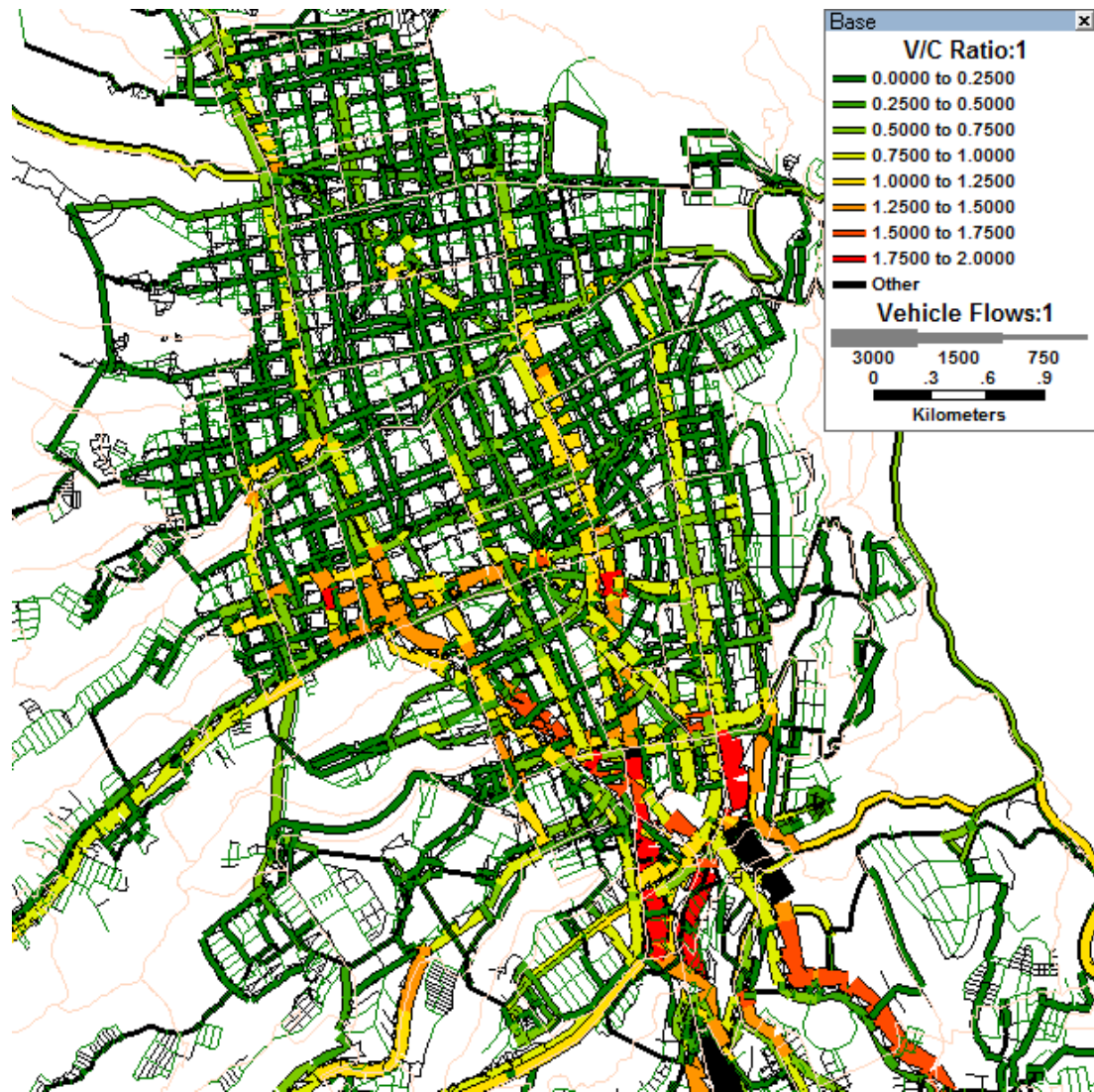
ANEXO A. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2015.



Running Results

Relative Gap	:	0.01
RMSE	:	11.43
% RMSE	:	14.07
Max Flow Change	:	266.44
Equilibrium reached	: Yes	
Total V-Time-T	:	453997.14
Total V-Dist-T	:	204848.07
Centroid V-Time-T	:	20898.24
Centroid V-Dist-T	:	6924.08
V-Time-T w/o Centroids	:	433098.90
V-Dist-T w/o Centroids	:	197923.99

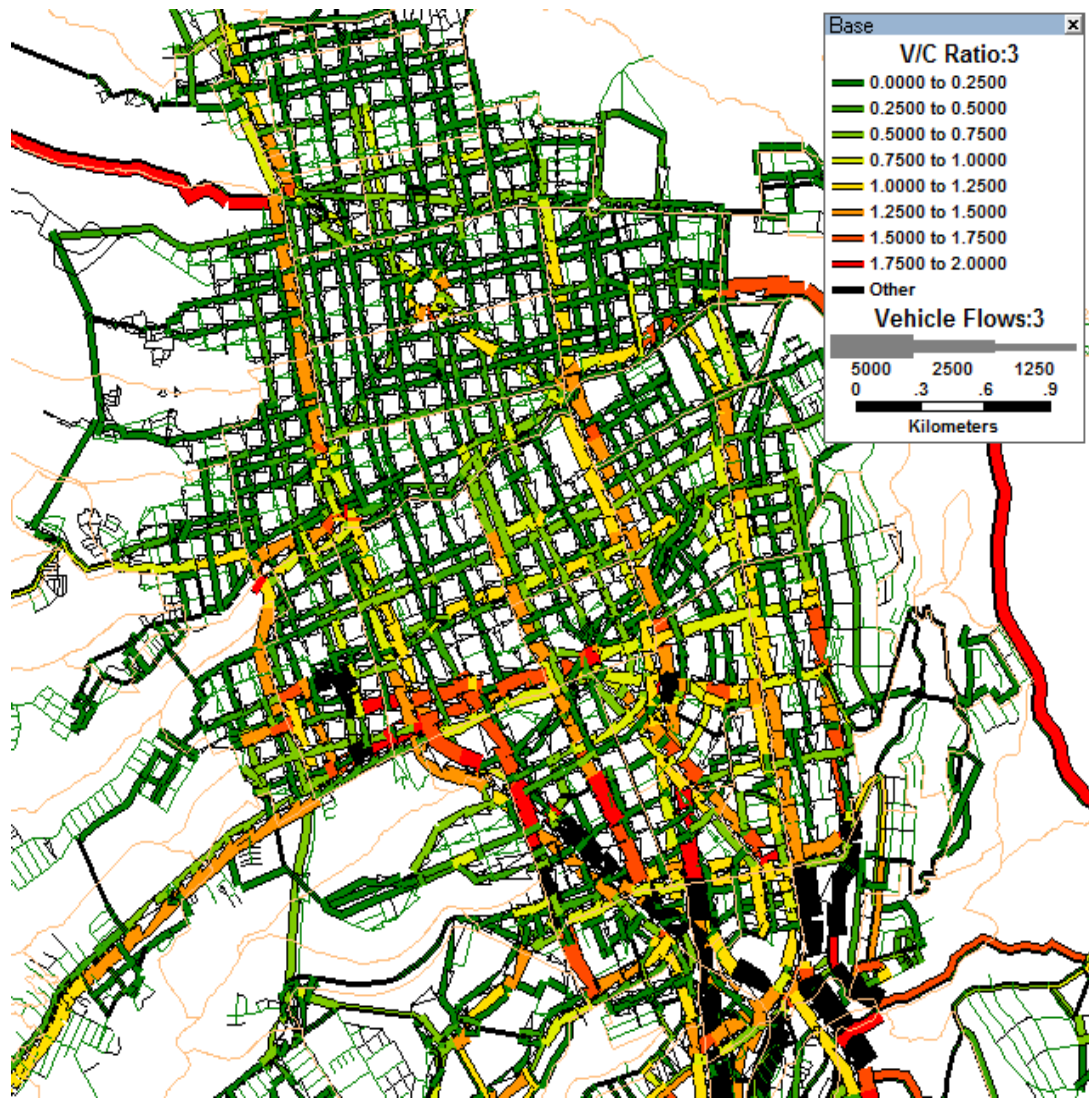
ANEXO B. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2020.



Running Results

Relative Gap	:	0.01
RMSE	:	7.70
% RMSE	:	5.08
Max Flow Change	:	161.73
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	1002133.99
Total V-Dist-T	:	381535.56
Centroid V-Time-T	:	31563.30
Centroid V-Dist-T	:	10068.49
V-Time-T w/o Centroids	:	970570.69
V-Dist-T w/o Centroids	:	371467.07

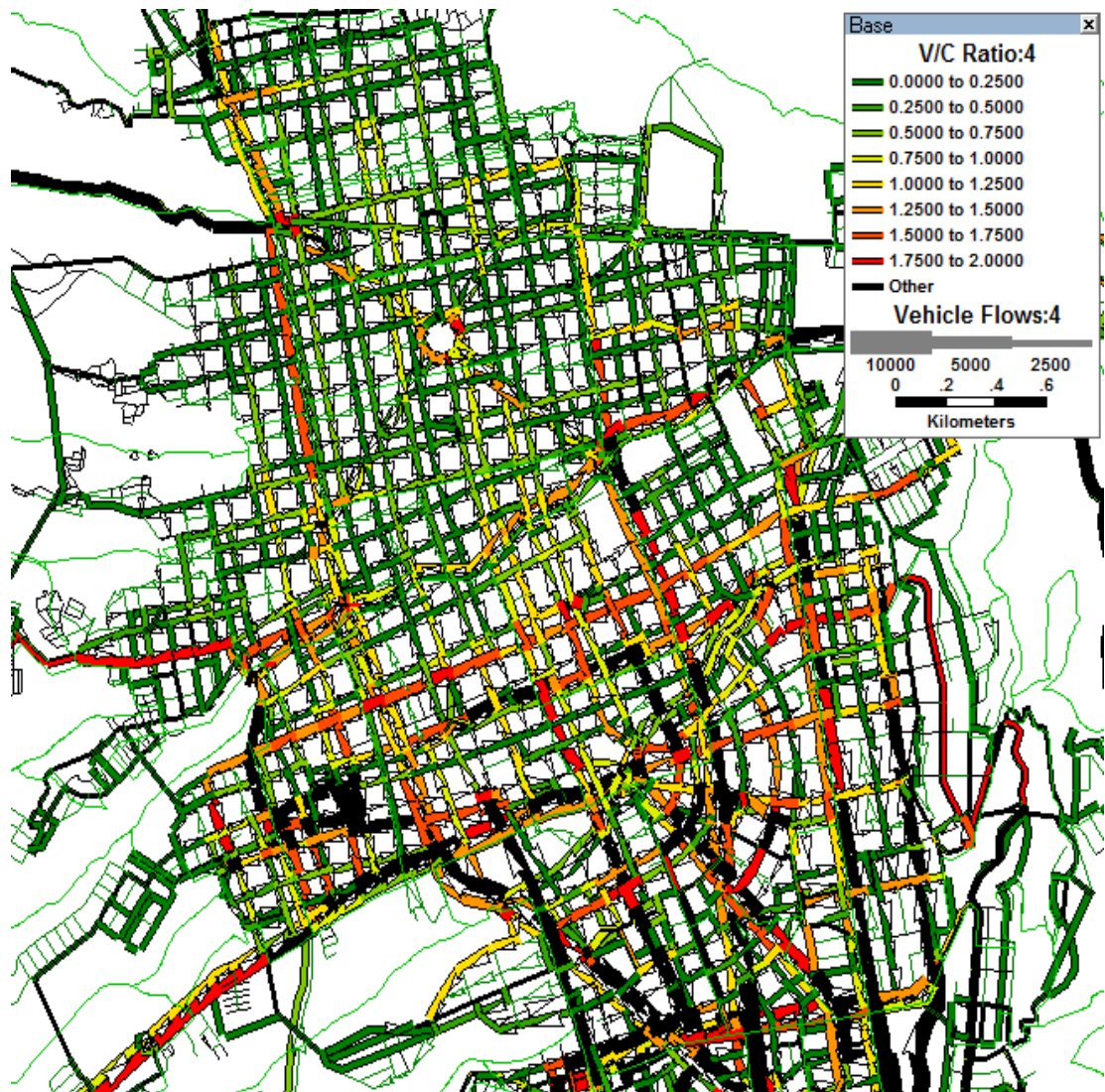
ANEXO C. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2025.



Running Results

Relative Gap	:	0.08
RMSE	:	25.66
% RMSE	:	9.75
Max Flow Change	:	458.78
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	2791491.68
Total V-Dist-T	:	713166.91
Centroid V-Time-T	:	57362.85
Centroid V-Dist-T	:	15916.33
V-Time-T w/o Centroids	:	2734128.83
V-Dist-T w/o Centroids	:	697250.58

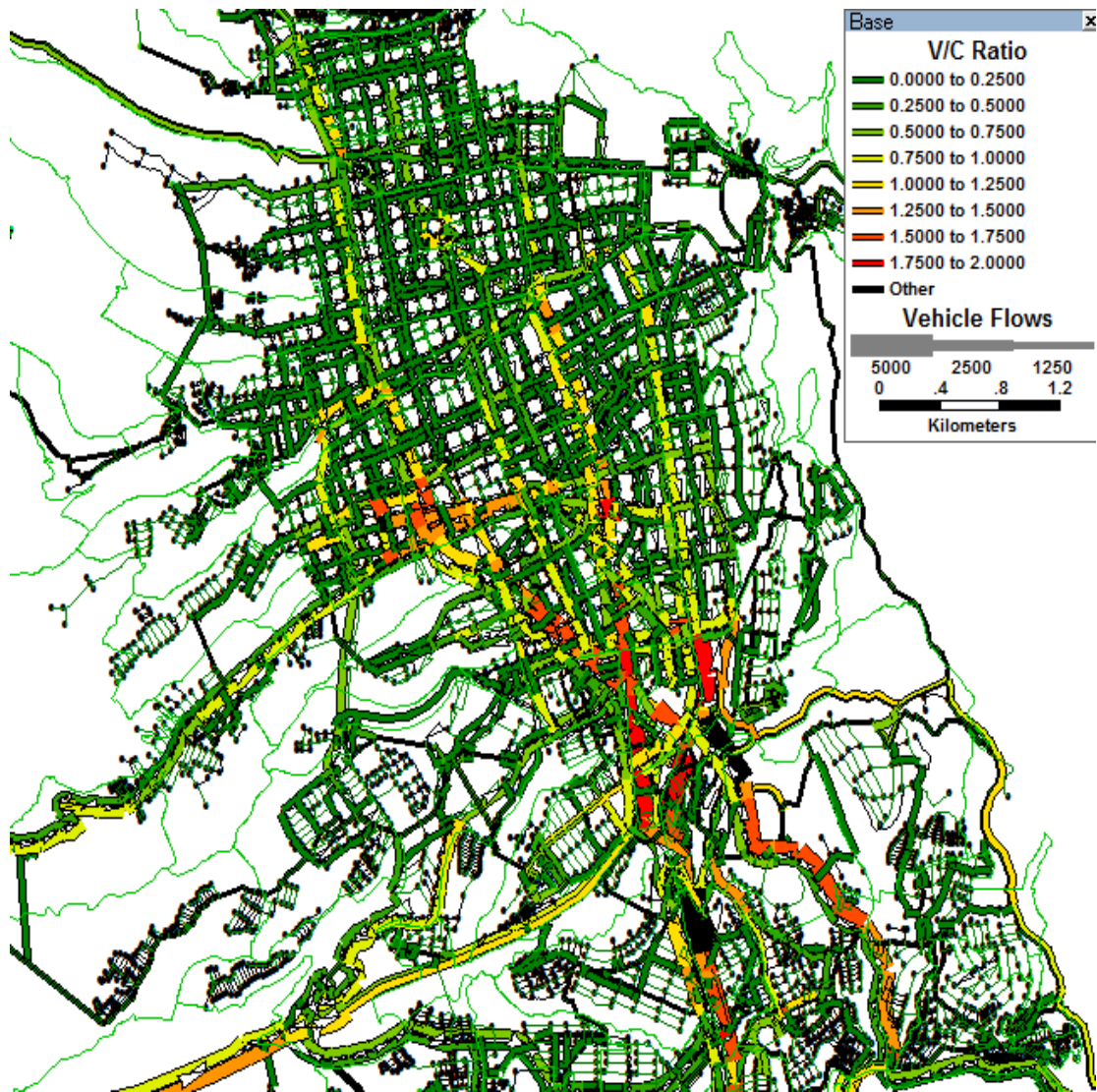
ANEXO D. Modelo de tráfico en el software TransCad sin la implementación del sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2030.



Running Results

Relative Gap	:	0.26
RMSE	:	101.45
% RMSE	:	19.02
Max Flow Change	:	1529.87
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	19525592.50
Total V-Dist-T	:	1487904.89
Centroid V-Time-T	:	159495.22
Centroid V-Dist-T	:	27425.98
V-Time-T w/o Centroids	:	19366097.28
V-Dist-T w/o Centroids	:	1460478.91

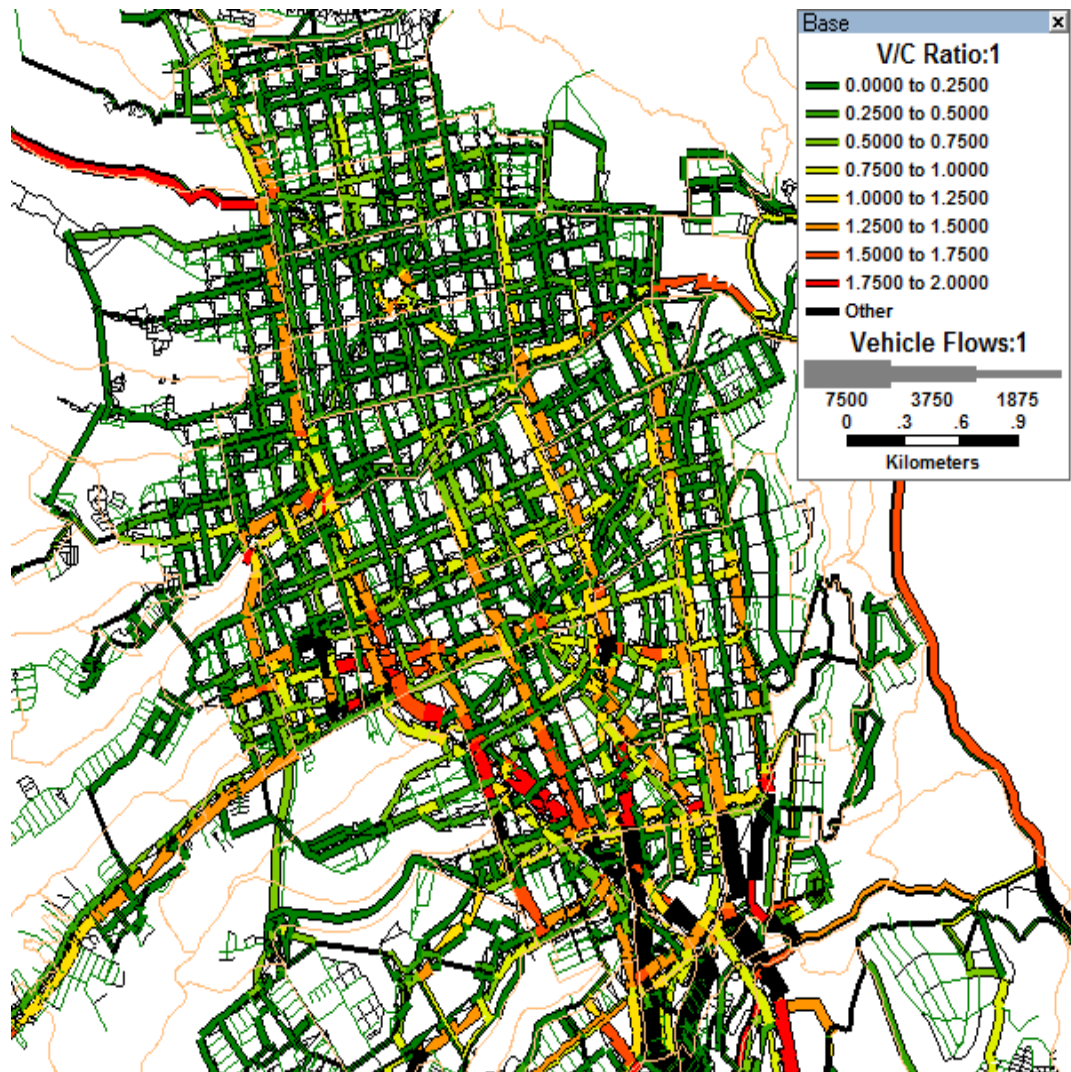
ANEXO E. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2020.



Running Results

Relative Gap	:	0.02
RMSE	:	9.59
% RMSE	:	6.39
Max Flow Change	:	273.21
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	980513.74
Total V-Dist-T	:	372182.72
Centroid V-Time-T	:	31811.30
Centroid V-Dist-T	:	10085.89
V-Time-T w/o Centroids	:	948702.44
V-Dist-T w/o Centroids	:	362096.84

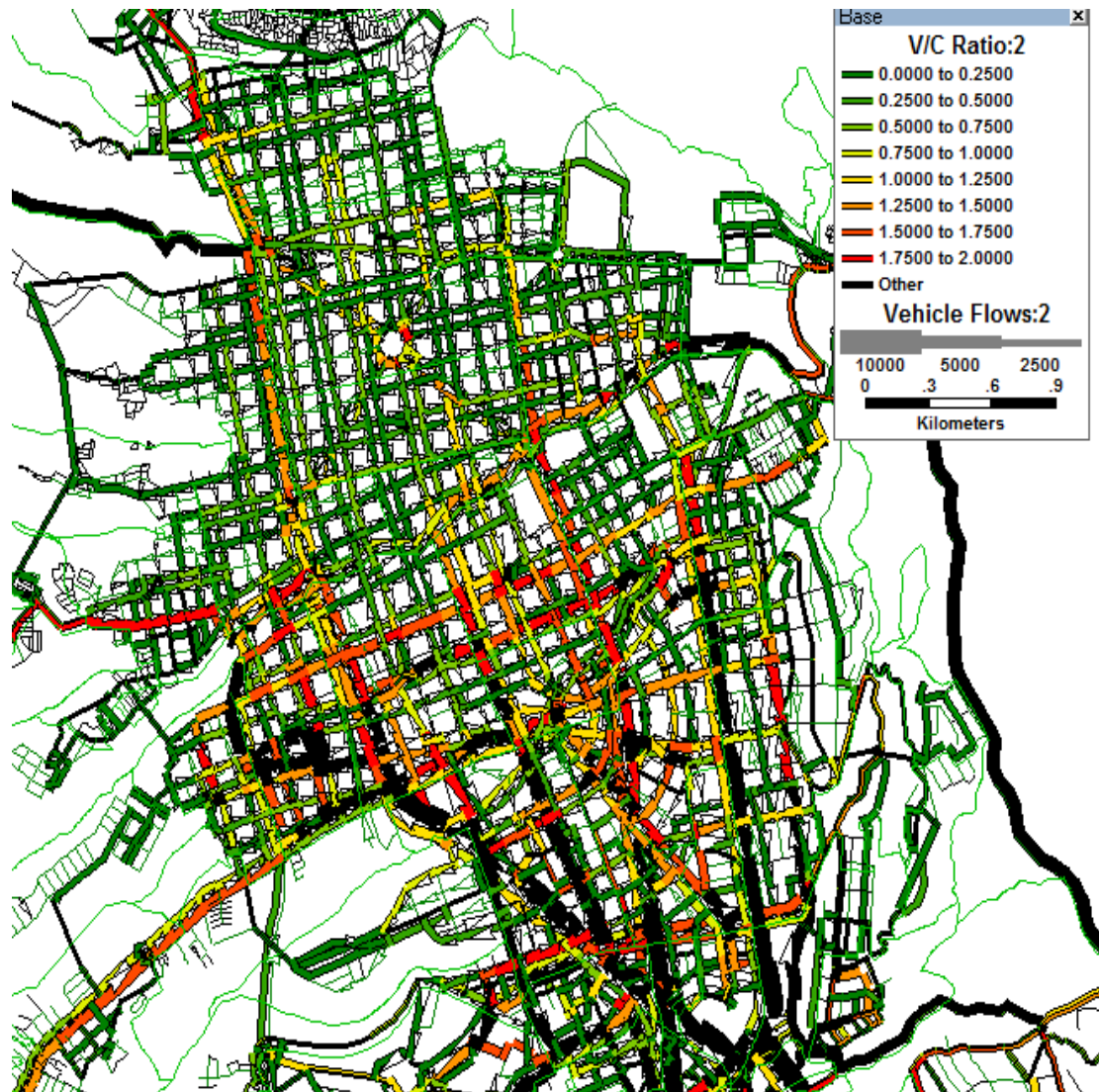
ANEXO F. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2025.



Running Results

Relative Gap	:	0.07
RMSE	:	22.37
% RMSE	:	8.59
Max Flow Change	:	319.08
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	2618048.50
Total V-Dist-T	:	698011.09
Centroid V-Time-T	:	57650.92
Centroid V-Dist-T	:	15876.06
V-Time-T w/o Centroids	:	2560397.58
V-Dist-T w/o Centroids	:	682135.03

ANEXO G. Modelo de tráfico obtenido en el software TransCad, aplicando el sistema elevado de metro ligero. Matriz de tráfico para el año 2030.



Running Results

Relative Gap	:	0.25
RMSE	:	99.94
% RMSE	:	19.43
Max Flow Change	:	2063.51
Equilibrium reached	:	No
Total V-Time-T	:	17157484.64
Total V-Dist-T	:	1412072.63
Centroid V-Time-T	:	163941.64
Centroid V-Dist-T	:	27376.61
V-Time-T w/o Centroids	:	16993543.00
V-Dist-T w/o Centroids	:	1384696.02