

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
TRANSPORTE TIPO METRO PARA CIUDADES INTERMEDIAS DE  
COLOMBIA, UN CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE  
BUCARAMANGA.**



**LISBETH PAOLA DEANTONIO MONROY  
MIGUEL ÁNGEL MATEUS BECERRA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2014**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
TRANSPORTE TIPO METRO PARA CIUDADES INTERMEDIAS DE  
COLOMBIA, UN CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE  
BUCARAMANGA.**

**LISBETH PAOLA DEANTONIO MONROY  
MIGUEL ÁNGEL MATEUS BECERRA**

**Proyecto de grado en Modalidad de Investigación para optar el título de  
Ingeniero Civil.**

**DIRECTOR  
YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN  
MSc (c) en Ingeniería Civil**

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

**2014**

## DEDICATORIA

*Este proyecto de investigación se lo dedico a mis Padres Luis Alfredo Deantonio Arévalo y Ilma Dianey Monroy Peña, agradeciéndoles con el alma todo el amor y la confianza que me dieron el día que decidí tomar este rumbo como Ingeniera civil, también por todo el esfuerzo y sacrificios constantes en permitirme poseer esta educación; a mi hermano Wilmer Andrés Deantonio Monroy, por guiarme en el camino de esta etapa y ser la persona en la cual me veía reflejada, a toda mi familia, mis lindas abuelas, mis tías, tíos, y primos por cada oración y cada velita que prendían para que me fuera muy bien.*

*A mi novio Cristian Camilo Arciniegas Serrato por ser mi bastón y mi almohada en las dificultades, por cada consejo y abrazo con cariño, y por su constante dedicación en que nos fuera bien en el estudio. Por último, a todas las personas que hicieron parte de esta etapa.*

**Lisbeth Paola Deantonio Monroy**

*Este proyecto de grado, es el resultado del esfuerzo conjunto de profesores, compañeros y familiares que aportaron un granito de arena para su ejecución y finalización. Por ello, es dedicado primero a Dios por guiar el camino hasta la culminación exitosa del mismo, porque es la luz que ha bendecido mi vida hasta hoy; A mis padres, Luis Hernando Mateus Rodríguez y Luz Marina Becerra Neiza, por su apoyo incondicional durante éstos años, por el gran sacrificio que han hecho para brindarme todo hasta ahora, y que con su ejemplo fueron el motor que me permitió llevar a cabo éste trabajo de tesis que es el último peldaño hacia la obtención del título universitario. A mis hermanos Julián Mateus y Laura Mateus por su voz de aliento durante éste período y finalmente a Andrea Benítez Gómez,*

*compañera inseparable de esta última etapa, que con su paciencia y consideración fue el impulso emocional. Sin ellos no habría sido posible.*

**Miguel Ángel Mateus Becerra**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al culminar esta investigación, queremos darle gracias a Dios por permitirnos terminar este proyecto con éxito, dándonos la fuerza y la sabiduría para enfrentar cada obstáculo que se nos presentaba. Agradecer al ingeniero MSc (c) Yerly Fabián Martínez Estupiñán, por su constancia y dedicación para que el desarrollo de éste proyecto se llevara a cabalidad de acuerdo con lo presupuestado desde el plan de proyecto hasta la puesta en marcha del modelo planteado, por todo el tiempo dedicado en la planeación y ejecución del mismo, siendo el responsable directo del éxito del proyecto. Al grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas de la Escuela de Ingeniería Civil, por permitirnos acceder a información y recursos informativos sobre la movilidad vial del Área Metropolitana de Bucaramanga. A los Ingenieros PhD. Hernán Porras Díaz, PhD. Jhon Jairo Caceres Jiménez, Ing. Álvaro Efrén Díaz Sedano, Ing. German García Vera, PhD. Guillermo Mejía Aguilar; por su objetividad y disposición para determinar el camino más adecuado hacia la correcta elaboración del proceso investigativo que hoy culmina. A nuestras familias por todo el apoyo moral, económico y afectivo durante todos estos años de aprendizaje que finalmente podemos ver reflejados en éste, el último peldaño en el escalón hacia el objetivo de cumplir nuestro sueño de obtener el título profesional otorgado por la Universidad Industrial de Santander. Para finalizar agradecemos al Arquitecto Ricardo Villarreal Camacho por su apoyo en materia logística u operacional para lograr el objetivo planteado.*

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. PARA UN PROBLEMA UNA SOLUCIÓN.....	21
2. INFLUENCIA DEL METRO EN CIUDADES DE AMÉRICA DEL SUR.....	23
2.1 EL METRO EN AMÉRICA DEL SUR.....	24
2.2 COSTOS DEL SERVICIO PÚBLICO EN AMÉRICA LATINA.....	27
2.3 CALIDAD DE VIDA EN LATINOAMÉRICA POR PROBLEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO Y PRIVADO.....	29
3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA METRO.....	31
3.1 CIUDADES INTERMEDIAS.....	31
3.2 MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	34
3.3 ¿TRANVÍA, METRO LIGERO O METRO PESADO?.....	35

4. TRAZADO DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO.....	38
5. TIPO DE INFRAESTRUCTURA DE METRO.....	41
5.1 ¿SUBTERRÁNEO O ELEVADO?.....	41
6. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS.....	46
7. DISEÑO DE LAS ESTACIONES.....	47
8. TIPO DE VEHÍCULO.....	52
8.1 CAPACIDAD Y MATERIAL RODANTE.....	52
8.2 DISEÑO DEL MATERIAL RODANTE.....	55
9. COSTOS DE INVERSIÓN.....	56
10. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE TIPO METRO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	58
10.1 MODELOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO.....	58
10.2 RED UTILIZADA EN LA SIMULACIÓN DE TRANSCAD.....	59
10.3 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	59

10.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
11. CONCLUSIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
CITAS.....	67
ANEXOS.....	72

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Principales Metros de América del Sur.....	24
<b>Tabla 2.</b> Índice de costos de transporte.....	28
<b>Tabla 3.</b> Comparación de las características y normas de funcionamiento de los tipos de servicios ferroviarios metropolitanos.....	37
<b>Tabla 4.</b> Resumen de las Vías arteriales de Área metropolitana de Bucaramanga.....	38
<b>Tabla 5.</b> Descripción geotécnica de puntos elegidos en la carrera 27 en la ciudad de Bucaramanga.....	42
<b>Tabla 6.</b> Longitud de estación a estación primera línea de metro de Ciudad de México.....	48
<b>Tabla 7.</b> Tipo de estación.....	50
<b>Tabla 8.</b> Distancias aproximadas entre estaciones para la primera línea del metro de Bucaramanga y su área metropolitana.....	51
<b>Tabla 9.</b> Balance del SITM Metrolinea de Enero 2012 a Diciembre 2012.....	53

<b>Tabla 10.</b> Especificaciones Técnicas de un CITADIS	
DUALIS.....	54
<b>Tabla 11.</b> Costos de capital proyecto metro en Bogotá	
Colombia.....	56
<b>Tabla 12.</b> Costos por kilómetro de un sistema metro con 30 Km de	
Longitud.....	57
<b>Tabla 13.</b> Datos Obtenidos de la simulación de los escenarios en	
Transcad.....	61

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfica 1.</b> Infraestructura vial urbana Latinoamérica 2012.....	30
<b>Gráfica 2.</b> Proyección demográfica del Área Metropolitana de Bucaramanga 2005 – 2025.....	31
<b>Gráfica 3.</b> Incremento tasa de motorización Área Metropolitana de Bucaramanga.....	32
<b>Gráfica 4.</b> Variación porcentual anual de los pasajeros transportados en el A.M. de Bucaramanga. III trimestre 2013.....	33
<b>Gráfica 5.</b> Distribución de Viajes de los Municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	35

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Recorrido Preliminar del Sistema tipo Metro.....	50
<b>Figura 2.</b> Metro Ligerio CITADIS DUALIS – Cuatro módulos.....	54
<b>Figura 3.</b> Red vial del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	59

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Primer escenario propuesto para la implementación del Sistema – Simulación en Transcad.....	72
<b>Anexo B.</b> Segundo escenario propuesto para la implementación del Sistema – Simulación en Transcad.....	73

## **GLOSARIO**

**AMB:** Área Metropolitana de Bucaramanga

**ANAC:** Asociación Nacional Automotriz de Chile

**BRT:** Bus de Transito Rápido

**CAF:** Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles

**CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

**IPKe:** Índice de Pasajeros por Kilometro

**PIB:** Producto Interno Bruto

**POT:** Plan de Ordenamiento Territorial

**SITM:** Sistema Integrado de Transporte Masivo

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE TIPO METRO PARA CIUDADES INTERMEDIAS DE COLOMBIA, UN CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA\*.

**AUTOR(ES):** Lisbeth Paola Deantonio Monroy  
Miguel Ángel Mateus Becerra\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Problemática del Tráfico Vehicular, crecimiento poblacional, Ciudades Intermedias, Sistema de Transporte masivo, Metro.

### **DESCRIPCIÓN:**

Grandes ciudades del mundo como Madrid, Londres, Berlín, París, entre otras tienen que enfrentarse a la difícil tarea de idear soluciones que abarquen la problemática de tráfico vehicular; debido al incremento poblacional (crecimiento anual 1.2%, a nivel mundial) y del parque automotor. En algunas ciudades intermedias de Colombia como Bucaramanga, se ha optado por implementar un sistema de transporte masivo para solucionar el problema del tráfico. Sin embargo, el incremento poblacional y el uso del automóvil a futuro, implantaran la necesidad de proponer la creación de otros sistemas de mayor capacidad y eficiencia, entre ellos sobresalen los sistemas tipo metro. Esta investigación tiene como objetivo principal la determinación de cuáles serían las condiciones técnicas para un diseño favorable de un sistema de transporte tipo metro, para aquellas ciudades intermedias de Colombia que en años posteriores presenten una problemática similar al Área Metropolitana de Bucaramanga o de mayor congestión vehicular e incremento del tráfico; teniendo en cuenta, condiciones utilizadas por algunas ciudades del mundo, entre ellas ciudades de América del Sur; para obtener una solución oportuna a la problemática del tráfico vehicular, disminuyendo el uso del vehículo particular, la accidentalidad vial, la falta de respeto con el espacio público y la utilización del transporte colectivo.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

## ABSTRACT

**TÍTULO:** PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF A TRANSPORTATION SYSTEM METRO TYPE FOR INTERMEDIATE CITIES OF COLOMBIA, A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN AREA BUCARAMANGA\*.

**AUTHOR:** Lisbeth Paola Deantonio Monroy  
Miguel Ángel Mateus Becerra\*\*

**KEYWORDS:** Problem of Traffic, population growth, Intermediate Cities Mass Transportation System, Underground.

### DESCRIPTION:

Big cities like Madrid, London, Berlin, Paris and others have to face the difficult task of devising solutions that encompass the problem of vehicular traffic, due to population growth ( 1.2 % annual growth, globally) and park automotive. In some intermediate cities such as Bucaramanga Colombia, has chosen to implement a mass transit system to solve the traffic problem. However, population growth and car use in the future, implanted the need to propose the creation of other systems of greater capacity and efficiency, including the meter stick type systems. This research has as main objective to determine what technical conditions would be favorable for design of an underground transport system type, for those intermediate cities in Colombia than in later years present a similar to the Metropolitan Area of Bucaramanga or greater congestion problems and increased traffic, taking into account conditions used by some cities worldwide, including cities in South America, for a timely solution to the problems of traffic, reducing the use of private vehicles, road accidents, lack with respect to public space and the use of public transport.

---

\* Graduation Project.

\*\* Faculty of Engineering physico - mechanical. School of Civil Engineering. Directed by Fabián Martínez Yerly Estupiñan.

## INTRODUCCIÓN

El tráfico vehicular es el resultado de varios factores sociales, económicos y culturales, que se presentan en algunas ciudades del mundo. La congestión vehicular es un problema que crece año tras año, trayendo problemas de calidad de vida a las personas; principalmente a las que habitan en grandes ciudades. El progresivo aumento de vehículo particular, ha sido generado por el mejoramiento de los ingresos que han tenido los habitantes, los amplios créditos financieros, el aumento de oferta en los carros usados; todo sumado a la insuficiencia del transporte público. “El crecimiento de vehículos aumenta”, ya sea por lo antes mencionado o por buscar una comodidad, estatus o simple necesidad. Esto hace pensar que las soluciones que han implementado algunas ciudades del mundo, no han obtenido buenos resultados, ya que no se puede decir que sus metas sean una solución a largo plazo.

Cuando se crea un sistema de transporte se plantea que este sea eficiente, confortable y seguro permitiendo desplazar a millones de usuarios minimizando tiempos de viajes y costos de operación. Se debe tener en cuenta, que cada día el crecimiento poblacional de cualquier ciudad aumenta como también aumenta su parque automotor y en ese momento aparecen los problemas de congestión vial. Se puede referenciar que el transporte público colectivo no abarca la necesidad para cubrir esta problemática, lo que genera buscar una solución más partidaria que beneficie a la ciudad evitando problemas de movilidad.

Lo principal es enfocarse en aquellas Ciudades Colombianas que contengan un determinado número de población y que en un futuro puedan presentar problemas de congestión vehicular. En este caso, buscar un sistema de transporte que pueda abarcar la problemática vehicular que se presentará y que pueda afrontar el crecimiento de la población y del parque automotor.

## 1. PARA UN PROBLEMA UNA SOLUCIÓN

“Al crear una propuesta se tiene en cuenta que el sistema de transporte público tiene prioridad ante los demás transportes habituales, y que consigo trae unos beneficios favorables para la ciudad como: convertirla en un lugar económicamente más competitivo, reducir la accidentalidad, reducir la emisión de CO2 y lograr el reordenamiento del transporte urbano dentro del área de influencia” [1]. Debido a esto se han planteado soluciones basadas en un sistema que pueda garantizar la disminución del parque automotor y que pueda cubrir el crecimiento poblacional.

Hay ciudades que prefieren darle importancia al sistema de transporte público subsidiando tarifas y comprando buses, ya que consideran que los costos que se pueden generar en una ciudad al construir un sistema de transporte tipo metro, son muy elevados.

Es efectivo afirmar que la implementación de un sistema de transporte tipo metro maneja dos estrategias específicas: una construcción o expansión significativa de la red de metro y trenes urbanos, y una firme regulación en el uso del automóvil. La realidad experimental a nivel mundial, ha comprobado que para la solución de este problema de tráfico, la creación y expansión de redes de metro ha resuelto la reducción del automóvil, la descongestión vial, y la mínima participación del transporte urbano, más que opciones como la de subsidiar una tarifa para transporte público. “Lógicamente una persona no se baja de su automóvil para subir a un transporte urbano pero si podría pensarlo para usar el servicio de transporte tipo metro” [2].

Detallando el impacto que puede generar el Metro o tecnologías similares, se observa que es bastante amplio analizando el porvenir de las ciudades y la calidad

de vida de sus habitantes. “Esto concluido por la cantidad de empleos que se generan; como ejemplo se asimila entre los años 1990 y 2004, donde para ciudades sin línea de metro el porcentaje de cantidad de empleados fue de 18,1% contrario de aquellas ciudades que tenían metro su porcentaje fue de 35,8%” [3]. Se justifica que con el tiempo la distancia media entre viajes en ciudades con línea de metro disminuya, ya que la ubicación continua de viviendas, comercio y servicios se localizan en torno a cualquier proyecto de metro, lo que genera menos costos y tiempos de viaje, y una baja cantidad de congestión y contaminación.

Además se considera más barato un servicio de transporte tipo metro que un servicio de transporte urbano, esto debido a que los costos variables por pasajero que se trasladan en el Metro son casi la tercera parte que las de buses urbanos, así “los costos sean elevados en la construcción de un Metro, éste garantizará que con la disminución del tiempo y un buen diseño se genere un menor costo de suministro de servicios” [4].

## **2. INFLUENCIA DEL METRO EN CIUDADES DE AMERICA DEL SUR**

En América del Sur, algunos países se basaron en la implementación exitosa de un sistema de transporte tipo Metro para solucionar el problema del tráfico vehicular, los sistemas férreos construidos en algunas ciudades del mundo tuvieron que ser subsidiados para cubrir sus costos de operación; en América del Sur sucedió lo mismo debido a que las ciudades tienen varias necesidades que hay que satisfacer, y para ellas es difícil financiar o subsidiar un proyecto tan grande como el Metro. Ya teniendo este tipo de sistema minimizan la utilización de transporte urbano y la utilización de automóviles. ¿Por qué se genera esta disminución? Se considera que es más rentable utilizar un servicio tipo metro, primero porque hay más comodidad e innovación, segundo porque los demás transportes tienen más tiempo de recorrido y este sistema genera en primera instancia la minimización del tiempo de viaje, y tercero sus tarifas son iguales o inferiores al precio común de un sistema de transporte público.

El Metro ha realizado la disminución del tráfico vehicular en las ciudades de América del sur, y ha transportado a un cierto porcentaje de pasajeros de un lugar a otro. Las soluciones han sido favorables pero no se descarta que con el tiempo el crecimiento de la población o del parque automotor aumente y se deba continuar creando o expandiendo nuevas líneas férreas para controlar el transporte de pasajeros y el movimiento de vehículos en las ciudades.

**Tabla 1.** Principales Metros de América del Sur.

<b>PRINCIPALES METROS DE AMERICA DEL SUR</b>				
<b>País</b>	<b>Metro</b>	<b>Población</b>	<b>N° total de Pasajeros que transporta diariamente el Metro</b>	<b>%</b>
<b>Argentina</b>	Metro de Buenos Aires	2.890.151	1.700.000	58,82
<b>Brasil</b>	Metro de Belo Horizonte	2.475.440	215.000	8,69
	Metro de Brasilia	2.562.963	150.000	5,85
	Metro de Porto Alegre	1.409.939	300.000	21,28
	Metro de Recife	1.546.516	210.000	13,58
	Metro Rio de Janeiro	6.320.446	520.000	8,23
	Metro de San Pablo	11.376.685	1.550.000	13,62
<b>Chile</b>	Metro de Santiago	5.428.590	2.300.000	42,37
	Metro de Valparaíso	294.848	52.000	17,64
<b>Colombia</b>	Metro de Medellín	2.499.080	502.000	20,09
<b>Perú</b>	Metro de Lima	7.605.742	140.000	1,84
<b>Venezuela</b>	Metro de Caracas	6.943.901	2.000.000	28,80
	Metro de Valencia	1.599.026	58.000	3,63
	Metro de Maracaibo	1.339.000	63.000	4,71
	Metro de los Teques	251.466	28.000	11,13

**Fuente:** Elaboración propia.

## **2.1. El metro en América del Sur.**

### **Santiago de Chile (Chile)**

Santiago es la capital de Chile y la ciudad más importante de este país, entre sus medios de transporte públicos cuenta con un sistema tipo metro (Tren subterráneo metropolitano – metro de Santiago), en la actualidad cuenta con cinco líneas y 108 estaciones, y a través de él se transportan diariamente alrededor de 2.300.000 pasajeros. “El metro de Santiago es el medio de transporte público más sofisticado, agradable y seguro de Latinoamérica” [5].

Debido al uso del sistema tipo metro en la ciudad Santiago, la población prefiere la utilización del sistema en vez de optar por un automóvil. De acuerdo a las cifras presentadas por la Asociación Nacional Automotriz de Chile ANAC, desde 1998 la tasa de motorización ha bajado del 8,6 a 6,1 personas por auto, siendo Chile el país que lidera a nivel latinoamericano el crecimiento de esta tasa. Para el año 2010 se tiene la participación de 2,8 millones de vehículos a comparación de 1990 que eran de 960 mil. De continuar esta tendencia en el 2015 se tendrá una tasa de motorización similar a la de Argentina de 4,8 personas por auto.

### **Metro de Buenos Aires (Argentina)**

Buenos Aires cuenta con un sistema de transporte tipo metro (Tren subterráneo metropolitano - Subte), en la actualidad cuenta con 6 líneas y con 83 estaciones en servicio. Para el año 2010 El Instituto nacional de Estadística y Censos INEC Argentina, nos presenta que entre el 2001 y el 2010 la población de Buenos Aires tuvo un crecimiento promedio anual de 4,5%, y que para el año 2010 la población sumaba 2.890.151 habitantes, número de habitantes que era distribuido en una superficie de 202 Km<sup>2</sup>.

Además, diariamente recibe más de 10 millones de vecinos de la Región Metropolitana. Esto implica que en la ciudad se realizan una gran cantidad de viajes, la mitad de los cuales se efectúan a través del sistema de transporte público. Por sus 58,8 Km de red, el "Subte" transporta diariamente casi 1.700.000 pasajeros. Los viajes restantes se canalizan a través del Sistema de Transporte Automotor de Pasajeros.

### **Metro de Rio de Janeiro (Brasil)**

En la actualidad, Rio de Janeiro es la ciudad más turística de Brasil, y cuenta en su transporte público con un sistema tipo Metro (Tren subterráneo metropolitano –

metro de Rio de Janeiro), compuesto por 2 líneas y 35 estaciones. Para el 2012 transporto un total de 400 millones de pasajeros anuales. Se calcula que para el año 2016 seguirán las dos mismas líneas pero el número de estaciones se incrementa a 42.

Cuando se inauguró el Metro de Rio de Janeiro tenía 4,3 km de vías que unían cinco puntos importantes de la ciudad, y en sus diez primeros días de funcionamiento transporto a más de medio millón de personas. La función del Metro es regular el tráfico vehicular y minimizar la participación del transporte público formal e informal, al igual que los automóviles.

### **Metro de Lima (Perú)**

Lima es la capital de Perú y por consiguiente la ciudad más importante de este país. Como parte de su transporte público, Lima cuenta con un sistema tipo Metro (Tren urbano metropolitano), compuesto por 1 línea y 16 estaciones. Para el 2012 transporto 28,5 millones de pasajeros anuales.

En la ciudad de Lima después de la implementación del sistema Metro, el transporte público abarca un porcentaje de viajes de 53%, a diferencia de transportes individuales como el automóvil que tienen una utilización de 22% y el transporte a pie el 25%.

### **Metro de Medellín (Colombia)**

Medellín es una de las ciudades importantes de Colombia. En su transporte público cuenta con un sistema de Metro (tren de tránsito rápido) compuesta por 2 líneas y 34 estaciones incluyendo la del Metro cable, transportando un total de pasajeros para el 2012 de 183 millones. El Metro de Medellín no solo es un medio de transporte, los beneficios que el proporciona a la ciudad, como atractivo turístico y

a los usuarios dando ejemplo de comportamiento y cultura. Por el momento es el único sistema masivo en Colombia que no contamina y que trabaja con un sistema de telecabinas para transportar a los pasajeros por cable aéreo.

## **2.2. Costos del servicio Público en América Latina.**

“El crecimiento acelerado e incontrolado del parque de vehículos motorizados privados en varias ciudades latinoamericanas, puede alcanzar una tasa del 15% al 20% anual” [6], comprometiendo el desarrollo económico que puede empeorar la calidad de vida de sus habitantes.

“En ciudades de más de 100.000 habitantes, el transporte público cuesta aproximadamente  $3\frac{1}{2}$ % del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que el costo del tiempo consumido en efectuar estos viajes, que no se contabilizan en el PIB, equivale a un 3%” [7] con tendencia al alza debido a factores variables como la expansión territorial de las ciudades y el consecuente incremento en la distancia promedio de los viajes efectuados; la sustitución de medios de menor costo de operación por persona, como autobuses por otros más costosos de operar como el automóvil; y la mayor congestión de tráfico vehicular, que aumenta las demoras y costos de operación de los vehículos.

En Chile, el índice general registró una variación en costos de transporte mensual de 2,4%, acumulando 5,9% en el 2013, debido en principio al alza de combustible del 4,5%, como consecuencia al aumento de precios internacionales del producto pese a la persistente escasez de crudo liviano en el Mediterráneo. Este índice es el que mide la variación de los precios de una canasta de bienes y servicios fijos; si un conjunto de bienes en este caso el combustible, aumenta de precio, los consumidores no contarán con el dinero suficiente para adquirir este bien, lo que

puede generar la difícil utilización de algunos servicios como el automóvil y el transporte urbanos.

**Tabla 2.** Índice de Costos del Transporte.

<b>INDICE DE COSTOS DEL TRANSPORTE</b>	
	<b>Base Anual 2009 = 100</b>
	<b>Diciembre</b>
INDICE	129,67
VARIACIÓN MENSUAL	2,4
VARIACIÓN ACUMULADA	5,9
VARIACIÓN 12 MESES	5,9
INDICE SIN COMBUSTIBLE	117,05
VARIACIÓN MENSUAL SIN COMBUSTIBLE	0,4

**Fuente:** Instituto Nacional de estadísticas de Chile INE.

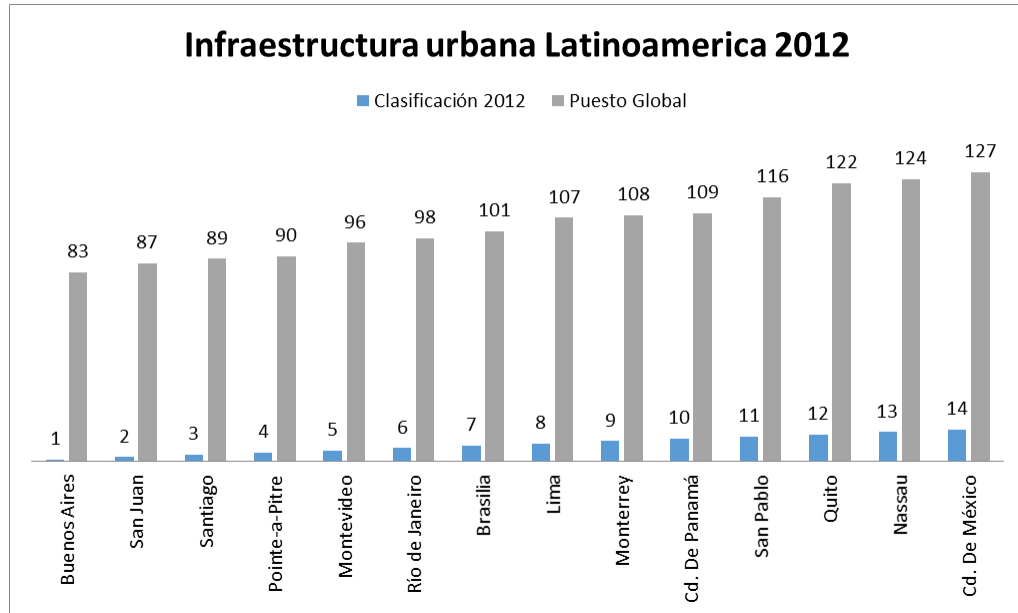
“La capital Colombiana alberga cerca de 6.776.009 de habitantes” [8], de los cuales los grupos familiares de las zonas periféricas en su gran mayoría pertenecen a los estratos 1 y 2, donde los ingresos por familia no superan los 2 salarios mínimos legales vigentes, siendo la destinación hacia el transporte público para cumplir con obligaciones académicas y de trabajo, uno de los factores más influyentes en la afectación de sus salarios. “Parte de la problemática de movilización tiene que ver con el desplazamiento de más de 580.000 personas desde el sector rural hacia la capital Colombiana en pro de mejorar los ingresos monetarios del grupo familiar, quienes destinan un 12% (Cárdenas, 2008.) de sus ingresos en la utilización de los diversos sistemas de transporte público que ofrece Bogotá” [9], tal como sucede con los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga, dónde además, existe el uso de otras formas de transporte distinto al organizado, el informal, que incrementan el gasto de las familias pertenecientes a este sector poblacional.

### **2.3. Calidad de vida en Latinoamérica por problemas de transporte público y privado.**

En ciudades como Río de Janeiro o Sao Pablo, el tiempo medio dedicado por un habitante en desplazamientos entre su domicilio y su lugar de trabajo es de más de dos y hasta tres horas. Sin duda, el tiempo desperdiciado en esta actividad evita que estas personas inviertan su tiempo en más actividades productivas o bien de ocio, generando menor calidad de vida. Curitiba en Brasil y Bogotá en Colombia, en donde hay mucha más fluidez de tráfico, demuestran que las mejoras en las condiciones de transporte pueden ofrecer una solución para que el crecimiento demográfico y económico sean compatibles con una calidad de vida sostenible, refiriendo el tema del funcionamiento de los denominados BRT, que si bien han dado una solución al problema de tráfico en las mencionadas ciudades, no suple por completo el problema de movilidad.

En América del Sur: Montevideo, Santiago y Buenos Aires son las tres primeras ciudades en materia de calidad de vida, y se observa que están directamente relacionados con el nivel de infraestructura vial con que cuentan, de acuerdo con medidas de electricidad, disponibilidad de agua, teléfono, transporte público, congestión vial vehicular y la efectividad de los aeropuertos, en los lugares 93, 89 y 83 respectivamente a nivel global. Por su parte, “Quito, Bahamas y ciudad de México cuentan con la menor calidad en infraestructura vial” [10].

**Grafica 1. Infraestructura Vial Urbana Latinoamérica 2012.**



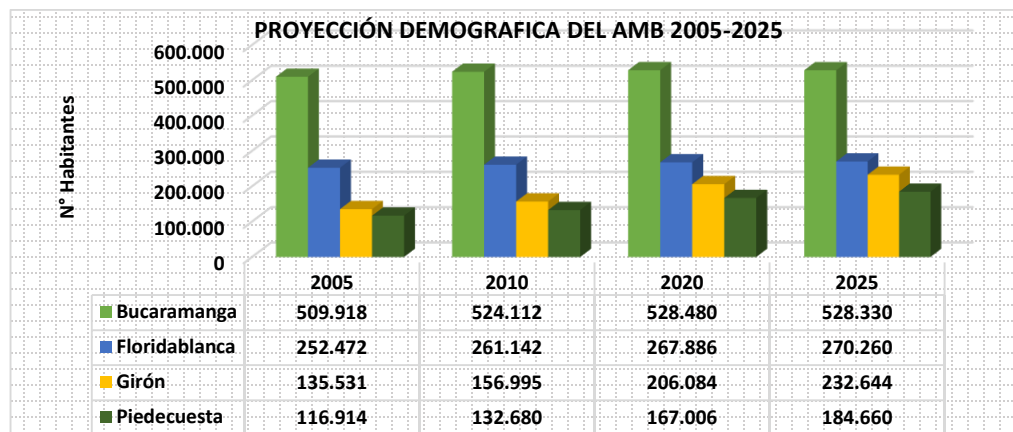
**Fuente:** <http://latam.mercer.com/press-releases/encuesta-calidad-de-vida-mercero-2012>

### 3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA METRO

#### 3.1. Ciudades Intermedias.

Son ciudades que en relación al rango de población del país, son consideradas con un tamaño medio. En Colombia se considera que una ciudad intermedia se encuentra entre los 100 mil a 1 millón de habitantes, entre las cuales se clasifican las ciudades de Popayán, Neiva, Manizales, Cartagena, Santa Marta, entre otras. La ciudad de Bucaramanga está definida como una de las ciudades intermedias de acuerdo al censo del 2005 con una población de 509.918 habitantes y para el 2025 realizando una proyección tendrá 528.330 habitantes, lo que la sigue considerando como ciudad intermedia. Bucaramanga se encuentra al nordeste de Colombia, siendo la capital del departamento de Santander y cabecera principal del Área Metropolitana de Santander.

**Grafica 2.** Proyección Demográfica del Área Metropolitana de Bucaramanga 2005-2025.

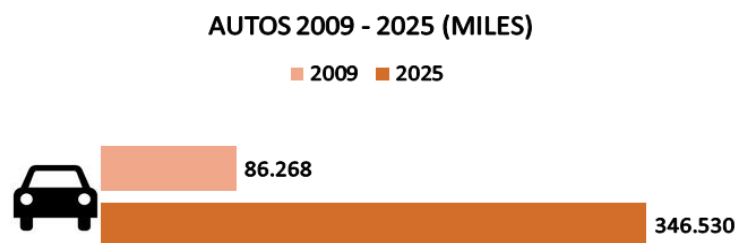


**Fuente:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

El Área metropolitana de Bucaramanga se encuentra constituido por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón, y se encuentra bajo un entorno de problemas respecto a la movilidad vial. Estos problemas aumentan por la congestión vehicular, la accidentalidad vial, el aumento en los tiempos de viajes, la desorganización del tránsito, la ausencia de respeto por el espacio público, entre otras. Tales situaciones llevan al AMB al deterioro de la calidad de vida de los habitantes y de los municipios.

No obstante, la utilización del automóvil es uno de los causantes de la congestión vehicular, se puede decir que las personas buscan más comodidad y rapidez en sus viajes, cosa que en ocasiones el transporte público no puede brindar, así que optan por la utilización del vehículo particular, aumentando la tasa de motorización. Para el Área Metropolitana de Bucaramanga la tasa de motorización se incrementó en un 8%, y durante los últimos años ha aumentado a 51 vehículos por cada mil personas, lo que género que para el año 2009 el incremento fuera de 81 vehículos por mil personas y realizando una proyección para el año 2025 el incremento será de 285 vehículos por cada mil personas.

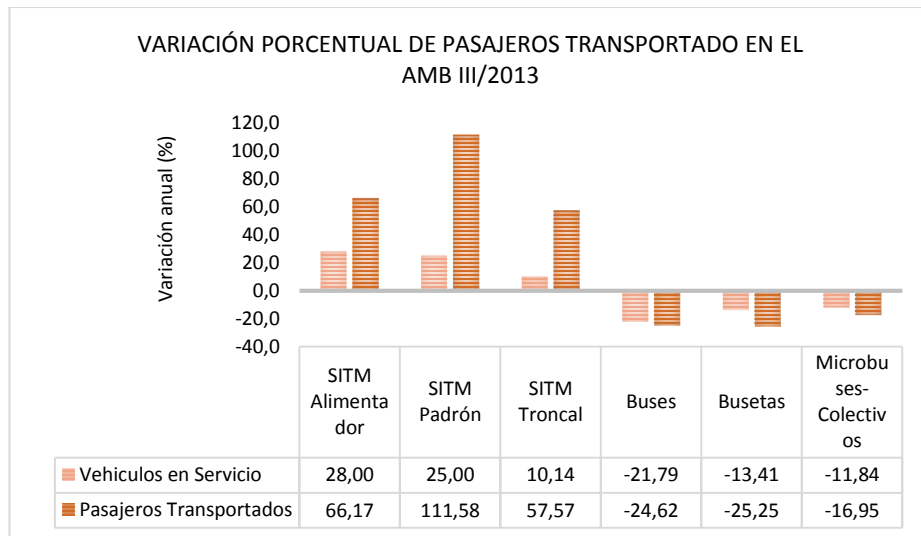
**Grafica 3.** Incremento Tasa de motorización Area Metropolitana de Bucaramanga.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Por el momento en el AMB, se ha optado por la implementación de un sistema integrado de transporte masivo conocido como Metrolinea, de acuerdo con los lineamientos de política establecidos por el CONPES 3167 de 2002, “se mejora el servicio de transporte público urbano de pasajeros mediante la aplicación de herramientas técnicas y financieras innovadoras, con el propósito de fortalecer los procesos de descentralización, aumento de productividad, ordenamiento y consolidación de las ciudades, dentro de un marco de disciplina fiscal” [11] teniendo una variación en el transporte público, que favorece al sistema y minimiza el uso de transporte del bus urbano convencional. “Para los años 2011 y 2012 el sistema ha transportado 36 millones 980 mil 462 pasajeros” [12], comprobando que la implementación del sistema es una herramienta que genera una alternativa válida para suplir con la problemática de movilidad en la ciudad y su área metropolitana, minimizando la utilización del sistema de transporte público colectivo.

**Grafica 4.** Variación Porcentual anual de los pasajeros transportados en el A.M. de Bucaramanga. III trimestre 2013.



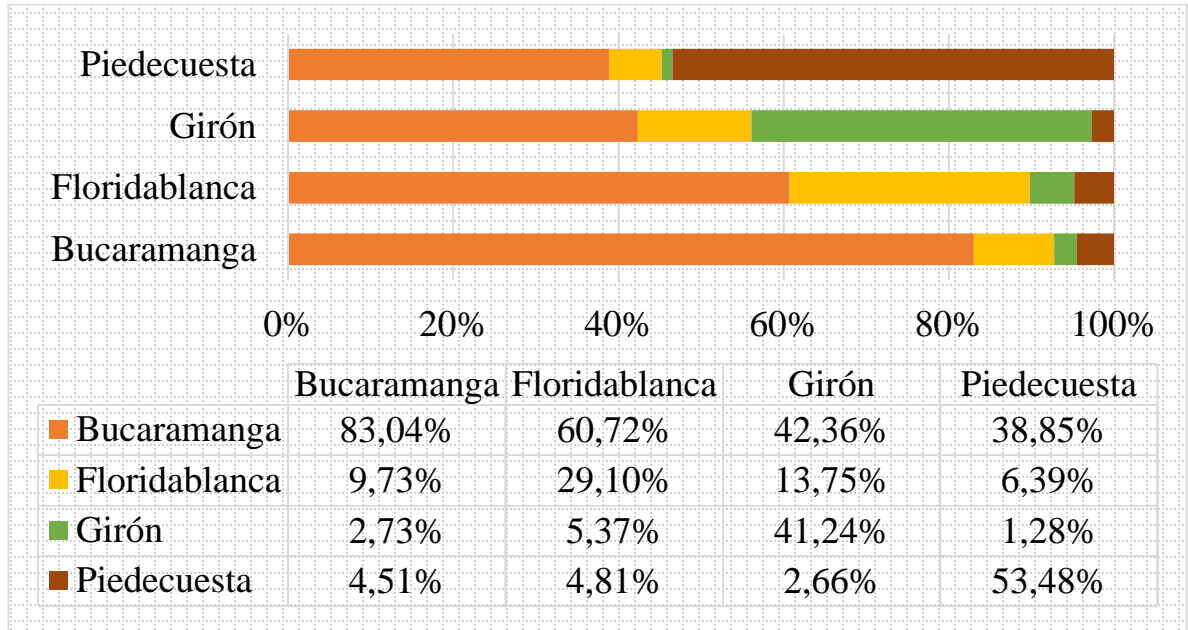
**Fuente:** Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros Resultados III trimestre del 2013 DANE.

Así, el uso del sistema de transporte Integrado Metrolinea ayuda a regular el tráfico descongestionando algunas de las vías arterias de la ciudad, sin embargo, “se espera que para el año 2025 el área metropolitana de Bucaramanga tendrá un total de 1.215.894 de habitantes y una movilización de 346.530 autos” [13], lo que sin duda representa desde ya complicaciones en materia de congestión vehicular, generando un denominado conflicto de calidad de vida Urbana. El crecimiento del parque automotor privado, así como de personas por utilizar su propio auto, es motivado por tarifas de transporte Urbano que les impiden competir contra nuevos y llamativos vehículos que satisfacen al consumidor por comodidad o estatus social. En este momento la entrada de sistemas de transporte masivo como el metro ligero, representará alternativas razonables para solventar las problemáticas que sin duda este incremento traerá consigo.

### **3.2. Movilidad en el Área Metropolitana de Bucaramanga.**

Según la distribución de viajes entre los diferentes municipios del área metropolitana de Bucaramanga actualmente, el principal destino es la ciudad de Bucaramanga para los viajes provenientes de Girón, Piedecuesta y Floridablanca; además, los viajes internos en los municipios de Girón, Piedecuesta y Bucaramanga representan más de 40% del total de los viajes; para este último, el más alto, con 83%. “El mayor porcentaje se obtiene en los viajes realizados entre los municipios de Girón y Piedecuesta, con valores inferiores a 3%” [14].

**Grafica 5.** Distribución de viajes de los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga.



**Fuente:** Plan Maestro de Movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga.

### 3.3. Tranvía, Metro ligero o Metro Pesado.

Una de las opciones que han manejado algunas ciudades del mundo, es la implementación de un sistema de transporte tipo metro para dar solución a los problemas de tráfico vehicular y todas las implicaciones que de este se derivan y que se mencionaron con anterioridad; como lo son: mejorar el congestionamiento vial, el ahorro en el tiempo de viajes para los usuarios, ser un sistema amigable con el medio ambiente por utilizar electricidad para su funcionamiento y no emitir gases contaminantes, entre otras; dan resultado a una utilización favorable por parte del usuario ya que esta con respecto al transporte urbano, tiene una minimización en el tiempo de viaje. Por el momento no ha existido ninguna ciudad con el mismo tamaño y el mismo número de población, que halla resultado el problema del tráfico con la

implementación de transporte público urbano. Ciudades que contienen extensiones urbanas y de población, obtienen redes de Metro o trenes urbanos que sobresalen entre los 200 a los 400 kilómetros. En estas grandes ciudades el transporte urbano cumple cifras muy pequeñas de utilización como servicio. La mayor cantidad de viajes en transporte público son realizados por medio de una línea de metro o transportes similares como trenes suburbanos o tranvías, dejando así la utilización de bus urbano como una alternativa mínima.

La implementación de un sistema de transporte ferroviario en el presente proyecto, está directamente relacionada con el número de personas que habitan en una determinada ciudad. Existe un tipo de sistema de transporte masivo diseñado y adecuado para dar solución a los problemas de congestión vial y que se adaptan a las necesidades particulares tanto de las denominadas ciudades principales, que superan los 3.000.000 habitantes, como de ciudades con población inferior a 1.000.000, aportando así una solución más rentable para la economía de las mismas.

Bucaramanga cuenta con una población actual aproximada de 526.000 habitantes sin contar los ciudadanos de los municipios que conforman su área metropolitana. Asimismo, de acuerdo a las proyecciones contempladas en el anterior numeral (4.1); el sistema férreo que se podría sugerir para abarcar la problemática de la ciudad es un Metro Ligero, porque es el sistema más adecuado para población entre 500.000 a 3.000.000 habitantes. El metro ligero representaría una solución más funcional que un sistema de metro pesado, debido a que el total de población proyectada, no justificaría la utilización de dicho sistema, generando pérdidas económicas y hasta un eventual congestionamiento del sistema.

**Tabla 3.** comparación de las características y normas de funcionamiento de los tipos de servicios ferroviarios metropolitanos.

<b>Características</b>	<b>Tranvías</b>	<b>Metro Ligero</b>	<b>Metro Pesado</b>	<b>Tren suburbano</b>
<b>Tamaño urbano (En miles de Personas)</b>	200 - 5.000	500 - 3.000	Más de 4000	Más de 3.000
<b>Unidades de Coches por Tren</b>	1 a 2	2 a 4	Hasta 9	Hasta 12
<b>Capacidad de Personas por Tren</b>	125 - 250	260 - 520	800 - 1.600	1.000 - 2.200
<b>Velocidad media (km por Hora)</b>	10 a 20	30 a 40	30 a 40	45 a 65

**Fuente:** The Transit Metropolis: A Global Inquiry.

El Metro ligero es un sistema de capacidad intermedia que es atractivo para el usuario y surge como un transporte moderno, sirve como solución a los problemas de movilidad en ciudades donde los transportes urbanos no cumplen con la satisfacción del usuario y generan congestión; aparte de esto es un sistema que se acopla a las condiciones económicas ya que no justifica una elevada inversión. El metro Ligero es un sistema que trabaja a tracción eléctrica, de conducción manual y en ocasiones es posible la conducción automática, operando en plataformas reservadas. Su costo y capacidad se sitúan en igualdad de condiciones a las de un autobús y las de un metro convencional. No obstante, el metro ligero está diseñado para transportar pasajeros en hora pico entre 6.000 y 20.000 pasajeros, y en horas normales en un promedio de 1.500 pasajeros/hora. “Lo cual se acomoda para el Área Metropolitana de Bucaramanga, que transporta un total de pasajeros diarios entre 150 mil a 157 mil usuarios” [15].

#### 4. TRAZADO DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO.

La Ciudad de Bucaramanga cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el cual clasifica las vías de la ciudad en dos tipos Las vías llamadas Arterias Tipo y las vías de la Red local del municipio.

**Tabla 4.** Resumen de las vías arteriales del Área Metropolitana de Bucaramanga.

NOMBRE	TIPO	SECCIÓN VIAL
Autopista Bucaramanga - Floridablanca	V-0	68 metros
Autopista Bucaramanga - Girón	V-1	52 metros
Vía Palenque - Café Madrid	V-1	52 metros
Carrera - Diagonal 15	V-2	32 metros
Carrera 27	V-2	32 metros
Avenida la Rosita	V-2	32 metros
Avenida Quebrada seca	V-3	30 metros
Bulevar Bolívar	V-3	30 metros
Bulevar Santander	V-3	30 metros
Transversal Oriental	V-3	27 metros
Transversal Metropolitana	V-3	variable
La virgen - La cemento	V-3	27,40 metros

**Fuente:** Plan de Ordenamiento territorial del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Las Vías de Arteria Tipo están divididas: en Vías Tipo V-0. Tienen una sección transversal mayor de 60 metros. Vías Tipo V-1. Tienen una sección transversal entre 60m y 40m. Vías Tipo V-2. Tienen entre 30m y 40m de sección transversal. Vías Tipo V-3. Tienen entre 25m y 30m de sección transversal. Problemas puestos a evidencia mediante el POT como la irracionalidad del sistema de transporte público y la deficiente malla vial, representada en la saturación de las vías arterias de la ciudad causada principalmente por la desarticulación entre el crecimiento del

parque automotor y la infraestructura existente para atenderlo, “la escasa planeación del transporte público existente” [16], entre otras que disminuyen la capacidad de servicio de la malla vial, son problemas que definen cuál será el trazado más adecuado para la primera línea de metro, que debe dar una solución eficiente ante estos problemas puntuales.

Entre las vías de arteria tipo que se ajustan a las mencionadas necesidades, se encuentran la de tipo V-2 denominada carrera 15 que en el sector de la Rosita se convierte en Diagonal 15. Es una de la más importantes por su permanente movimiento de transporte sobre todo de servicio público, fue ampliada y arreglada para el proyecto Metrolínea, inicia en el sector norte de la ciudad de la vía que viene de Santa Marta y en el sector de la puerta del sol termina para convertirse en la Autopista Bucaramanga - Floridablanca - Piedecuesta. Sobre la mencionada vía en intersección con la Av. Quebrada Seca, comienza el centro de la ciudad que evidencia el problema de exceso de actividades en el centro de la ciudad que origina desequilibrio en el desarrollo del territorio, genera una intensa ocupación durante el día y desolación en la noche. La concentración de actividades, sin planificación, ha producido graves problemas de movilidad debido al excesivo tránsito vehicular, sumados al congestionamiento del escaso espacio público, en parte por la invasión por parte de los comerciantes informales. Éstas características convierten a la Carrera 15 en una opción para la implementación del sistema de metro ligero, que daría funcionalidad equilibrada en el desarrollo económico y social de la zona generando el desarrollo integral del territorio.

La avenida Prospero Pinzón o Carrera 27 del tipo V-2 considerada TPC2 (Arterial de enlace primario de transporte colectivo racionalizado) - TL1 (Arterial de enlaces primarios de tránsito liviano); y Clasificación M-A (vía para mejoramiento y ampliación), cruza la ciudad de Norte a Sur. Inicia en la Universidad Industrial de Santander y cruza la ciudad de norte a sur. En el sector de la puerta del sol está ubicado el intercambiador del mismo nombre de donde se desprenden vías hacia la

autopista a Floridablanca y una continuación de la carrera 27 continua hasta el sector entre los barrios la Victoria y la Sallé donde se convierte en la Autopista a Girón y Lebrija, de esta vía se inicia la Carretera hacia Barrancabermeja. “Por éstas características, es idónea para que el trazado de la primera línea de metro se haga por la misma, donde además se daría solución a la congestión vehicular al occidente y oriente por la Carrera 33, donde el deterioro de la malla vial en el trayecto que va del Colegio de La Presentación hasta llegar a la intersección con la Calle 36, demuestra agravantes muestras de detrimento en las losas que conforman la vía” [17], trasladándose a su vez en un lento flujo vehicular, sin considerar el evidente deterioro de las aceras y de los separadores.

El nivel de servicio que a futuro puede darle a la ciudad la actual conformación de la malla vial, denotará grandes deficiencias no solo del municipio sino de toda el Área Metropolitana, éstas constituyen una necesidad de las ciudades modernas y para aquellas que deseen un desarrollo territorial integral y equilibrado, cuya consecuencia es la garantía de una alta calidad de vida para sus pobladores. La ejecución de proyectos del sistema estructurante de transporte masivo como la propuesta del presente artículo, se traducirá en la reestructuración y fortalecimiento del sistema de movilidad del Área Metropolitana, logrando el mejoramiento de la comunicación dentro del municipio en el sentido Norte – Sur (cuya deficiencia es sentida) y la integración eficiente entre los municipios que conforman el AMB.

## **5. TIPO DE INFRAESTRUCTURA DE METRO.**

Como se mencionó con anterioridad, “Bucaramanga y su área metropolitana superan los 1.122.945 habitantes” [18] y de acuerdo a parámetros técnicos generales de regulación, en la actualidad cumpliría varios requisitos para pensar en la implementación del sistema, como la cantidad de demanda del servicio de transporte público en las denominadas horas pico. A futuro, se prevén proyecciones hacia 2025 con incremento en el parque automotor y de personas, que a su vez traerán problemas de movilidad, trancones y medidas como el pico y placa no alcanzaran a controlar ese gran volumen de autos (346.530) y circulación de vehículos, siendo necesaria la adopción de metro en la ciudad.

En los análisis de diseño, deben ser tenidos en cuenta cada uno de los elementos y aspectos técnicos que lleven a la consideración del sistema de transporte existente, en especial al sistema de transporte masivo y por tanto de las previsiones de ampliación y adecuación del sistema. Más allá de concebir el metro como la única solución al problema de movilidad, es necesario comprender que la implementación del sistema llega como complemento al sistema existente.

### **5.1. Subterráneo o elevado**

Dadas las características del suelo Bumangués sobre el trazado de una de sus arterias principales como es la Carrera 27, en donde buena parte está constituido por suelos Aluviales sin presencia considerable de arcillas, que amplifican mucho las ondas sísmicas, y en un sismo se afectan más las estructuras elevadas que las subterráneas de cara al planteamiento de cuál es la mejor alternativa de superestructura por donde debe pasar el sistema de metro ligero; no se encuentra problema en realizarlo mediante el sistema elevado bajo ésta condición de Geotecnia. Por su parte, el planteamiento de un sistema subterráneo no altera la

arquitectura de la ciudad y no es necesario adquirir predios, dónde el proceso de excavación se debería hacer por debajo de las vías existentes, para que la vibración no se manifieste en agrietamiento de edificaciones.

“De acuerdo con el perfil geotécnico típico de los lotes ubicados en cuatro puntos estratégicos sobre la carrera 27 obtenido bajo información de los sondeos del tipo de suelo existente desde el sector comuneros hasta la calle 55” [19], la ausencia de suelos blandos representa una ventaja considerable para la ejecución de obras de excavación para el sistema subterráneo. Si en Londres y Ciudad de México, con suelos blandos de origen Lacustre, las líneas del metro son en su mayoría subterráneas; en este caso, contando con zonas de suelos de buena consistencia se podría pensar en la alternativa de excavación subterránea.

**Tabla 5.** Descripción geotécnica de puntos elegidos en la carrera 27 en la ciudad de Bucaramanga.

Profundidad [m]		Suelo	Limitaciones geotécnicas
Desde	Hasta		
<b>SONDEOS Cra 27 # 55-49</b>			
Variable de 0.8 a 1.5	Profundidades no determinadas mayores de 6.5	Suelos aluviales compuestos por limos, húmedos, poco permeables, poco plásticos, duros, resistentes, color rojo y blanco con algo de bloques medios de areniscas blancas cuarzosas.	Suelos aluviales. Competentes para la cimentación de estructuras
<b>SONDEOS Cra 27A # 48-48</b>			
7	8.2	Suelos aluviales compuestos por arenas limo-arcillosas, medias, gradadas, densas, húmedas, resistentes, color rojo con gravas muy friables de areniscas de grano medio color amarillo.	Aluvial. Competentes para cimentación de estructuras.
8.2	9.5	Suelos aluviales compuestos por bloques de areniscas cuarzosas de	

		grano fino, densas, color amarillo, en matriz limosa, húmeda, algo plástica, color amarillo y marrón claro.	Aluvial. Competentes para cimentación de estructuras.
<b>SONDEOS Cra 27A # 30-31 SECTOR CLINICA COMUNEROS</b>			
Variable de 0.3 a 2	Profundidades no determinadas mayores a 5	Suelos aluviales compuestos por arenas limosas, medias y gruesas, gradadas, densas, resistentes, permeables, color rojo y bloques de areniscas friables de grano medio color amarillo, con gravas de tamaño grueso color blanco.	Aluviales. Competentes para la cimentación de estructuras
<b>SONDEOS Cra 27A # 37-38 SECTOR MOVIMIENTO MISIONERO.</b>			
Variable de 3-6.5 [m]	Profundidades no determinadas	Bloques de arenisca de grano medio a fino, de muy alta resistencia, en matriz, limo arenoso, color amarillo claro.	Suelo muy competente para la cimentación de estructuras.

**Fuente:** Estudio de viabilidad técnica y económica del soterramiento de la carrera 27 en la ciudad de Bucaramanga, para el uso del SITM.

En relación a la presencia de suelos blandos, según indica el profesor Fabián Álvarez, respecto al estudio de metro ligero en Bogotá, la mejor alternativa es contemplar diseño de corredores a nivel y elevadas. En el caso de esta propuesta, se debe tener en cuenta además la consideración de que puede generarse eventualmente un sistema combinado en la medida en que se presenten dificultades en el sistema subterráneo como el paso por viaductos como el García Cadena o el intercambiador vial en Puerta del Sol. Ejemplo de esta alternativa es un sistema de transporte masivo como el de Medellín: elevado, en el que las estructuras de apoyo deben ser piloteadas. “Por el contrario, si se pensara en construcción de metro en forma subterránea se deben tener unos diseños muy exigentes, como el complejo caso del metro de Caracas y al Metro de Valencia, que usaron el método

constructivo invertido” [20], en cuyas etapas de construcción se destacan una gran cantidad de implicaciones técnicas y tecnológicas directamente relacionadas con las secuencias constructivas, donde por ejemplo se debe prever la posibilidad que los túneles se deban excavar con anterioridad a la estación misma y deban ser luego removidos, con la condicionante adicional de mantener en operación alguno de ellos durante todas las etapas constructivas.

Este tipo de diseños permitirán controlar problemas de índole constructivo, mediante obras de gran envergadura, porque para hacer las excavaciones sería necesario hacer unas pantallas, mezcla de acero y concreto para evitar deslizamientos, que incrementan en forma sustancial el costo del proyecto y las implicaciones de caracterizar geotécnicamente los corredores que atraviesen la línea de metro. Asimismo, las excavaciones que tengan más de cinco metros de profundidad en presencia de suelos blandos, generalmente encuentran problemas de estabilidad, lo que implica el uso de pantallas de gran profundidad, que evitan que se cierre la excavación durante el proceso constructivo. Entonces, el sistema subterráneo se puede hacer desde el punto de vista técnico ya que en la actualidad existen equipos especializados para hacer túneles en suelos blandos sin ser indispensables excavaciones a cielo abierto, como quedo en evidencia luego de labores realizadas por el acueducto de Bogotá, en 2012, con la construcción de un colector de alcantarillado de 1.60 m de diámetro, con una longitud de 10.4 Km; los túneles para la construcción de un sistema tipo metro serían de mayor diámetro (3.50 a 4m con dos líneas) y además la dificultad serían las estaciones, que siendo de mayor tamaño, habría que hacerlas con tecnología diferente incrementando costos a su vez por el tema de las redes de conexión entre estaciones.

Lo más adecuado para determinar si debe ser subterráneo, superficial o elevado, es un estudio exhaustivo de suelos que permita identificar a fondo las características reales de cara a la implementación de metro y evaluar los riesgos que implicarán cualquiera de las superestructuras planteadas. Aunque aún no existe un estudio de

suelos enfocado al trazado de línea de metro en la ciudad, se requiere de la misma para determinar cuál es el método constructivo más conveniente, siendo una de las etapas vitales en el proceso de diseño. Asimismo, considerar en el diseño que se integre Metrolinea a todo el sistema de transporte masivo, para que éste se comporte como un elemento alimentador del metro, como sucede con el metro de Santiago de Chile, además de las consideraciones de integralidad en cuanto a conservación de la arquitectura urbana, espacio disponible para el trazado y por supuesto, dar una solución eficiente al tema de tráfico.

## **6. CONSIDERACIONES GEOTECNICAS DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS**

El diseño de un proyecto de metro involucra generalmente estructuras superficiales de gran magnitud y túneles con profundidades de hasta 40 metros, con diámetros que ocasionalmente alcanzan hasta 9 metros (excavaciones subterráneas de estaciones). Lo anterior exige gran responsabilidad técnica en la fase de diseño, donde las fases de investigación y descripción del subsuelo son fundamentales.

En la fase de investigación se dan bases para la elaboración del modelo Geológico básico, sobre el cual se define el modelo Geotécnico, que incluye la descripción del subsuelo, la subdivisión en las diferentes unidades geológicas o zonas homogéneas, la descripción de sus propiedades y características, y la identificación de escenarios potencialmente riesgosos.

Los datos del modelo geológico se obtienen por un programa de investigaciones Geológicas, Geotécnicas e Hidrológicas. Finalmente, dicho programa de investigaciones debe estar complementándose permanentemente, incluso durante la construcción de las obras.

La experiencia mundial en la construcción de metros urbanos ha demostrado que la realización de una buena y completa investigación geotécnica, utilizando metodologías claras y rigor científico y evaluando los resultados en los tiempos correctos, reduce los riesgos de construcción y costos del proyecto. Dentro de las labores en fase de investigación debe incluirse la instalación de inclinómetros, con el fin de disponer de un registro anticipado de las condiciones del subsuelo, antes de iniciar la construcción de las obras.

## 7. DISEÑO DE LAS ESTACIONES.

La estación del metro es un ente de transición entre la velocidad del mismo y la de sus usuarios, y debe contener elementos bien diferenciados para hacer posible tal transición. Siendo la estación del metro ligero, altamente funcional y tecnológico, con sistemas de comunicaciones y orientación pública, torres de controles, y servicios de asistencia, de seguridad y de venta presentando una interesante problemática de diseño. Los elementos de mayor relevancia son los rieles y la comunicación ferroviaria, las entradas y espacios de servicio, áreas de venta de pasajes, vestíbulos, las plataformas y áreas de circulación.

Dada la finalidad de carácter académica del estudio preliminar planteado en el desarrollo del presente proyecto, se plantea de forma inicial un diseño de estaciones basado en los parámetros mínimos que se puede encontrar en el manual de diseño geométrico de carreteras, por lo cual se determina que el ancho mínimo del andén de acuerdo con lo anterior, se tomará de 0.75 m, considerando que se haga para los dos lados del túnel, más bordillo de 0.45 m para un total de 1.20 m cumpliendo con la especificación técnica mínima. Esto, con el fin de dar cumplimiento técnico y generar una idea a grandes rasgos para quienes estén interesados en profundizar en el tema; encuentren la estructura general de las características mínimas de carácter técnico en esta fase del proyecto. Además es claro que para definir las estaciones; las exigencias de la demanda, la oferta de servicios de rutas del transporte público, las recomendaciones sobre aspectos ambientales, la accesibilidad peatonal de usuarios, así como las posibilidades de trazo geométrico, son criterios fundamentales para establecer la mejor alternativa.

Se tuvo en cuenta el posible aprovechamiento de las estaciones existentes del sistema de transporte masivo Metrolínea, mediante la conexión a éstas con el fin de lograr la vinculación y articulación de ambos sistemas, garantizando la integralidad

en el servicio de transporte para los ciudadanos. Asimismo presenta una ventaja al ser centros de alta demanda de usuarios dado el estudio previo a la implementación del BRT ya en funcionamiento. Sin embargo, en algunos puntos donde no existen tales, como es en sentido Sur-Norte desde la Puerta del Sol (estación Diamante), hacia el sector de la Universidad Industrial de Santander, se tomó en cuenta que la ubicación de las estaciones fuera en lugares de alta afluencia de personas por razones obvias, como parques importantes de la ciudad así como centros educativos.

**Tabla 6.** Longitud de estación a estación primera línea de metro de Ciudad de México.

INTERESTACIÓN	LONGITUD DE ESTACIÓN (metros)	LONGITUD DE INTERESTACIÓN (metros)	TOTAL (metros)
Pantitlán - Zaragoza	150	1,320	1470
Zaragoza - Gómez Farías	150	762	912
Gómez Farías - Boulevard Puerto Aéreo	150	611	761
Boulevard Puerto Aéreo - Balbuena	150	595	745
Balbuena – Moctezuma	150	703	853
Moctezuma - San Lázaro	150	478	628
San Lázaro – Candelaria	150	866	1016
Candelaria – Merced	150	698	848
Merced - Pino Suárez	150	745	895
Pino Suárez – Isabel la Católica	150	382	532
Isabel la Católica – Salto del Agua	150	445	595
Salto del Agua – Balderas	150	458	608
Balderas – Cuauhtémoc	150	409	559
Cuauhtémoc – Insurgentes	150	793	943
Insurgentes – Sevilla	150	645	795
Sevilla – Chapultepec	150	501	651
Chapultepec – Juanacatlán	150	973	1123
Juanacatlán – Tacubaya	150	1,158	1308
Tacubaya – Observatorio	150	1,262	1412

**Fuente:** coordinación de desarrollo tecnológico.

De acuerdo a la experiencia internacional, se destaca la implantación de la primera ruta del metro de la ciudad de México con un total de longitud de 18.828 Km, con una distancia aproximada entre estaciones de 876.53 m promedio, aunque varían recorridos se encuentran entre 532 m a 1.412 m como se observa en la Tabla 6; así como el metro de Santiago de Chile cuya primera línea que va desde la estación denominada San Pablo hasta los Dominicos, con una longitud total aproximada de 18.9 Km, un tiempo de viaje normal aproximado de 47 minutos y distancias entre estaciones variables de entre 1200 m y 500 m para un total aproximado de 750 m. Con base en lo anterior, se toma un criterio de acuerdo a dicha experiencia donde las estaciones deben cumplir con parámetros técnicos de distancias que tienen directa relación con los tiempos de servicio del sistema, así como el cumplimiento por normativa dónde las estaciones deben trazarse sobre tramos rectos, etc.

Se ha determinado que de forma preliminar, para la Primera Línea de Metro un total de 16 estaciones desde La Avenida Quebrada Seca con Carrera 27 en el sector del Parque de los Niños hasta la llegada al municipio de Piedecuesta a unos 800 m aproximadamente después de la estación La españolita del sistema Metrolínea hasta el puente vehicular (I45A #2 – 80 Piedecuesta). A su vez, se estima que es necesario hacer un estudio detallado de cimentaciones en puntos estratégicos dónde se considera que la línea de metro debe ser a nivel o elevado, como es el caso del Viaducto García Cadena, el sector de Puerta del Sol, puente de Provenza, Puente de la Rioja; ya que representaría un riesgo hacer excavaciones en estos puntos en cuanto a la parte técnica, y elevaría costos en el proyecto en la parte económica.

Finalmente, se considera que las estaciones deben estar interconectadas, para que los usuarios solo accedan a un tiquete. Con el tiempo se puede generar una alianza con el servicio Integrado de transporte masivo Metrolínea, para transportar a pasajeros a zonas donde no llega el Metro Ligero.

**Figura 1.** Recorrido preliminar del Sistema tipo Metro.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Tipo de Estación.

ESTACIÓN	ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN
Biblioteca Turbay	Terminal	Subterránea
Parque mejoras Públicas	De paso	Subterránea
Parque Turbay	De paso	Subterránea
Clínica Cafesalud	De paso	Subterránea
Diamante EA	De paso	Elevada
Provenza	De paso	Elevada
Payador	De paso	Elevada
Hormigueros	De paso	Elevada
Molinos	De paso	Elevada
Cañaveral	De paso	Elevada
Lagos	De paso	Elevada
La estancia	De paso	Elevada
Menzuli	De paso	Elevada
Palmichal	De paso	Elevada
Campoalegre	De paso	Elevada
La española	De paso	Elevada
Terminal Piedecuesta	Terminal	Elevada

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8.** Distancias aproximadas entre estaciones para la primera línea del metro de Bucaramanga y su área Metropolitana.

	<b>INTERESTACIÓN</b>	<b>LONGITUD DE INTERESTACIÓN (m)</b>
<b>LINEA 1</b>	Biblioteca Turbay - Parque mejoras Públicas (Calle 37 #26 - 99)	750
	Parque mejoras Públicas - Parque Turbay (Cra. 27 # 50 - 68)	600
	Parque Turbay - clínica Cafesalud	850
	Clínica Cafesalud - Diamante EA	1600
	Diamante EA - Provenza	650
	Provenza - Payador	600
	Payador - Hormigueros	650
	Hormigueros - Molinos	400
	Molinos - Cañaveral	850
	Cañaveral - Lagos	500
	Lagos - La estancia	3000
	La estancia - Menzuli	600
	Menzuli - Palmichal	850
	Palmichal - Campoalegre	950
	Campoalegre - La españolita	2100
La españolita - Terminal Piedecuesta	800	

**Fuente:** Elaboración propia.

## **8. TIPO DE VEHÍCULO.**

Cuando se refiere a la implementación de un sistema de transporte tipo metro, lo importante es que cumpla la demanda de pasajeros que se movilicen por este medio. Uno de estos retos es elegir el tipo de vehículo que va a transitar por las vías férreas. No obstante, se debe tener en cuenta lo definido en el numeral 4.2, si es tranvía, Metro Pesado o metro Ligero. En la ciudad de Medellín, se implementó un tipo de Vehículo de la marca CAF (“Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles”, empresa que es muy conocida a nivel mundial por llevar décadas en las construcciones de trenes y material férreo), donde se suministraron 13 trenes, cada uno con 3 coches (2 Coches Motores y 1 Remolque), y una longitud aproximada de 69 m, para una capacidad máxima de 1145 personas.

La ciudad capital de Colombia, Bogotá, está trabajando en los estudios preliminares para la implementación de un sistema tipo metro en la ciudad, por lo tanto uno de sus elementos básicos es la demanda de pasajeros que transportara. “Según la demanda calculada para el año 2018 de la carrera 7°, el sistema movilizará 23.000 pasajeros/hora. Por sentido, lo que le permitió a las entidades seleccionar un tipo de Metro Ligero de la firma Alstom” [21].

### **8.1. Capacidad y Material rodante.**

En la primera línea de Metro Ligero para el Área Metropolitana de Bucaramanga, se ha planteado lo siguiente, de acuerdo a la ruta escogida, el metro ligero tiene una longitud de 18,5 Km, iniciando en Quebradaseca # 27-1 a 27-65 y finalizando en la I45A #2 – 80 Piedecuesta, acorde a esto “el metro ligero tiene capacidad de transportar diariamente de 50.000 a 200.000 pasajeros” [22]. Para el Área Metropolitana de Bucaramanga se analiza como parámetro mínimo de pasajeros,

haciendo relación con los pasajeros que aumentaron en el sistema de transporte masivo Metrolinea de Enero del 2012 a Diciembre del 2012, la demanda de pasajeros mínima para el respectivo cálculo del tipo de vehículo de 80.000 pasajeros, esto debido a que se considera que en los siguientes años el aumento de pasajeros seguirá creciendo favorablemente con porcentajes mayores, lo que hace pensar que manejar un valor que para la actualidad se refleja como el aumento de pasajeros en un año para el SITM, este se va a reflejar en unos próximos años como el total de población de un día que utiliza el servicio de transporte masivo.

**Tabla 9.** Balance del SITM Metrolinea de Enero 2012 a Diciembre 2012.

<b>SITM Metrolinea</b>				
<b>año</b>	<b>Vehículos en Servicios</b>	<b>Aumento de vehículos</b>	<b>Pasajeros Transportados</b>	<b>Aumento de Pasajeros</b>
ene-12	132	<b>105</b>	55000	<b>80000</b>
dic-12	237		135000	

**Fuente:** Elaboración propia.

Para un total de usuarios se escoge un tipo de vehículo adecuado para transportarlos. Para esta implementación se opta por un CITADIS DUALIS, construido por Alstom, 100% piso bajo, con cuatro módulos o vagones, cada uno para una cantidad de 251 pasajeros, distribuidos en 98 personas sentadas y 153 de pie, para una capacidad de 4 personas/m<sup>2</sup>. Para esta definición se tuvo en cuenta que se transportan 80.000 pasajeros diarios por las horas transitadas del sistema y la cantidad de personas que pueden ingresar al Metro. Como resultado se tiene para este diseño el funcionamiento de 31 coches equivalentes a 8 metros ligeros, para que transiten por la línea que abarca una distancia de 18,5 Km.

**Tabla 10.** Especificaciones Técnicas de un CITADIS DUALIS.

<b>tipo</b>		Citadis Dualis 4 Módulos
<b>Longitud</b>		42 metros
<b>Ancho</b>		2,65 metros
<b>Altura</b>		3,5 metros
<b>Frenado</b>	<b>Tipo</b>	eléctrico, electrohidráulico y electromagnético
	<b>Máximo deceleración</b>	2,8 m / s de velocidad $\leq$ 70 km/h y 2,5 m /s de velocidad $>$ 70 km/h
<b>Tracción</b>	<b>Tipo</b>	IGBT, 3-fase
	<b>Potencia Motor continuo</b>	Motor 6 X 150 KW
<b>Mínima Curva de Radio</b>		25 m

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.** Metro Ligero Citadis Dualis – Cuatro Módulos.



**Source:** Combining the best of trains and tramways.

## **8.2. Diseño del Material rodante.**

El sistema de vía que se diseña para un sistema tipo metro, tiene la condición especial de permitir el rodamiento y el guiado de los módulos o vagones por medio de ruedas metálicas. La vía está constituida por rieles similares a los de una vía férrea clásica, con un ancho estándar de 1435mm. El peralte es medido sobre la vía férrea y en ocasiones puede alcanzar un valor de 140mm, los andenes se diseñan con la consideración de que la altura sobre el plano de rodadura se encuentre a  $1050 \pm 5$  mm, y se construirá en tramos rectos y horizontales con longitud mínima de 120mm.

En el caso de estudio para el Area Metropolitana de Bucaramanga, se opto por manejar para una galeria (Considerada una, por que contiene dos carriles uno para cada sentido) las dimensiones mínimas sustentadas en las especificaciones tecnicas de equipamiento y material rodante, dimensiones anteriormente mencionadas. La vía para un solo carril tendrá una dimensión de 4 metros, esto es debido a que, nuestro vehiculo tiene un ancho de 2,65 metros, y la distancia entre vehiculo y vehiculo es de 2,4m lo que genera que para un carril es 1,18m, y la distancia minima de anden a vehiculo es de 0,10m lo que da un total de 3,93m aproximadamente 4 metro por carril.

## 9. COSTOS DE INVERSIÓN.

Un componente importante de estudios de prefactibilidad y factibilidad de la implementación de un metro, es el cálculo de los costos de inversión. Es de vital importancia, tener en cuenta el valor de cada etapa de construcción como lo es la infraestructura y material rodante. Lo que se quiere verificar con la realización del balance, es mirar que etapa es la más costosa en el momento de la inversión, y esto se ha logrado comparando precios reales de una ciudad con otra, en este caso optamos por la comparación de la ciudad de Bogotá, está en primera instancia porque es un proyecto que está en su proceso preliminar de estudio; y Medellín porque es la única ciudad en Colombia en contar con este sistema férreo. De la comparación salieron resultados favoreciendo a que el costo de la inversión en infraestructura tiene un porcentaje mayor en el costo total de la obra, en comparación con otros que son muy mínimos como estudio de terrenos.

**Tabla 11.** Costos de capital proyecto Metro en Bogotá Colombia.

<b>COSTOS CAPITAL</b>	<b>%</b>
Infraestructura	47,56
Material Rodante	47,20
Terrenos	2,85
Supervisión de Obras	2,38

**Fuente:** Elaboración propia.

No obstante, la construcción de un metro presenta costos elevados. En algunos estudios se ha estimado que el mínimo por km está cercano a los US\$8 millones y

su máximo US\$165 millones. La diferencia depende del tipo y del diseño de la línea y de los rieles. Generalmente, “las líneas de superficie tienen un costo menor entre US\$8 y US\$27 millones por Km, los rieles elevados US\$22 y US\$60 millones, y los subterráneos entre US\$50 y US\$165 millones” [23].

**Tabla 12.** Costos por Kilómetro de un sistema metro con 30 Km de Longitud.

<b>Costos por Kilómetro de un sistema metro con 30 Km de Longitud</b>		
<b>(Millones de Dólares de 1987)</b>		
	<b>Costo por Km</b>	<b>Costo Total</b>
A nivel	8 a 27	240 a 810
Elevado	22 a 60	660 a 1.800
Subterráneo	50 a 165	1.500 a 4.950

**Fuente:** Evaluación de la Gestión financiera y legal del metro de Medellín.

## **10. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE TIPO METRO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

### **10.1. Modelos de asignación de tráfico.**

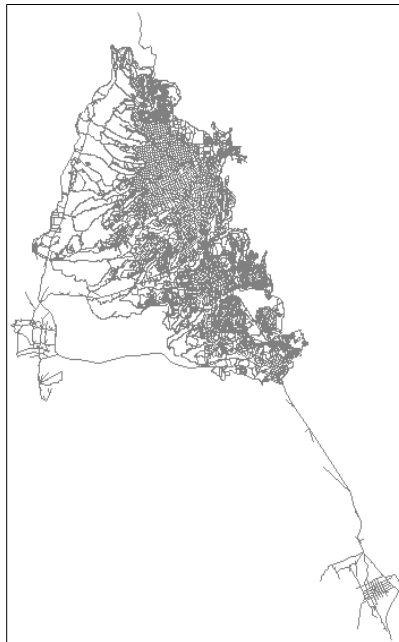
En la actualidad, uno de los grandes problemas que aquejan al Área Metropolitana de Bucaramanga y a sus ciudadanos, es la congestión vehicular. Una de las alternativas para solucionar la problemática, es diseñar un modelo de asignación de tráfico implementando un sistema de transporte tipo metro en funcionamiento y un sistema integrado de transporte masivo Metrolinea cuando funciona en su totalidad, para mejorar estrategias de control. “Los modelos de asignación son de gran beneficio ya que son modelos donde se crean nuevos escenarios para buscar soluciones. Estos modelos de asignación se enfatizan en resolver la optimización de los flujos en una determinada red de transporte” [24].

El método de asignación que se escogió fue el de Pathfinder. “Este método tiene la capacidad de permitir aspectos realistas como el acceso, egreso y uso de esquemas de tarifas en el cálculo de mejores trayectos” [25]. Lo más interesante de este método, es que la tarifa es lo más efectivo en la búsqueda de la o las mejores trayectorias. El método se basa en las frecuencias de las rutas y tiene en cuenta el tiempo de parada de los vehículos en los paraderos así como el tiempo de espera por parte de los usuarios en las paradas mientras llega el bus y el tiempo que demora en arrancar el bus, así como el costo del pasaje, y todo esto con lo que el programa puede calcular el costo generalizado de viaje.

## 10.2. Red utilizada en la Simulación TransCAD.

Por medio del grupo de Investigación Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, se obtuvo la zonificación de la red a utilizar, esta correspondiente a la red vial del área Metropolitana de Bucaramanga.

**Figura 3.** Red Vial del Área Metropolitana de Bucaramanga.



**Fuente:** Grupo Investigación Geomática - Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

## 10.3. Simulación de escenarios.

Para la modelación del sistema de transporte tipo Metro en el AMB en el Programa TransCAD, utilizamos el método mencionado en el subcapítulo anterior y la matriz con la que cuenta el grupo de Investigación Geomática de la Universidad Industrial de Santander, la cual tiene información del año 2011 y una proyección a 2015, que

se utilizó en el proceso de modelamiento de las fases futuras del sistema de transporte masivo Metrolinea. Los escenarios que se analizaron son los mencionados en los anexos 1 y 2, los cuales son la ruta del SITM Metrolinea y la el mismo sistema Integrado trabando en conjunto con un sistema Tipo Metro.

La modelación es durante la hora pico de 7:00 AM – a 8:00 AM y se trabajó con una frecuencia de metro de 10 minutos, que es similar a la frecuencia de un bus articulado de Metrolinea.

#### **10.4. Análisis de Resultados.**

Mediante el programa TransCAD, se obtuvieron resultados que se centraron en cada uno de los escenarios suministrados al programa. Los resultados se definen en los parámetros que arroja TransCAD, teniendo en cuenta que mientras sea más alto IPKe, es más efectivo el escenario porque el sistema transporte más pasajeros. Los indicadores generales que nos arroja TransCAD en nuestro modelamiento se definen como:

- Longitud kilómetros Equivalente Hora Pico: La longitud en kilómetro, que recorre cada uno de los escenarios implementados en el programa TransCAD, durante el tiempo de estudio, en este caso la hora pico en AMB,
- Costos Hora Pico: Los costos operacionales que generan los escenarios en la longitud equivalente de la hora pico.
- Pasajeros Hora Pico: demanda de pasajeros durante la hora pico.
- Índice de Pasajeros por Kilómetro: Relación de pasajeros con la longitud en Hora pico.

- Transferencia: total de transbordos en los escenarios Hora Pico.

**Tabla 13.** Datos obtenidos de la simulación de los escenarios en TransCAD.

Escenario	Kilómetros HP			Kilómetros Equiv. HP Total	Costos HP	Pas- Hora	IPKe	Transferencias
	Articulados	Alimentadores	Padrones					
Metrolínea	734	5,743	8,333	10,148	\$ 46,975,623	30,456	2,9	12,856
Metrolínea con Metro	728	5,271	8,256	11,412	\$ 54,658,235	38,562	3.4	10,562

**Fuente:** TransCAD.

Ya obtenidos los indicadores generales que se presentan en la tabla 13, se realiza un análisis observando que la opción de implementar el sistema tipo Metro es más efectiva a la hora de transportar más pasajeros que el solo sistema Integrado de transporte Masivo. Esto se debe a que mientras la transferencia sea menor y el índice de pasajeros por kilómetro sea mayor en el escenario propuesto utilizando el sistema tipo metro, este transporta más pasajeros por kilómetro. Esto debido a que los habitantes buscan comodidad a la hora de transportarse de un lugar a otro, aparte de esto, se hace referencia por algunas ciudades de América del Sur, que la innovación en sistemas de transporte público hace más efectivo la utilización de los pasajeros.

## 11. CONCLUSIONES

Con la elaboración de este proyecto, se puede inferir que la propuesta de implementar un sistema de transporte tipo metro ligero para el área metropolitana de Bucaramanga, puede ser considerada como una alternativa razonable, de acuerdo con las proyecciones de incremento en el parque automotor y de población, que indican que para el 2025 habrá 1.215.894 habitantes. No obstante, es claro que para el 2025, se debe pensar en si es una posibilidad rentable que abarcará la problemática de tráfico vehicular, que es el objeto de estudio central del presente trabajo de investigación.

Se concluye que algunas ciudades en América latina, han decidido implementar un sistema de transporte ferroviario como consecuencia a una problemática que es el común denominador en toda la región, y se trata de la congestión vehicular, como resultado de diversos factores, de los cuales se destacan el incremento poblacional así como del parque automotor. La experiencia internacional latinoamericana, que de alguna manera se puede ajustar más a las eventuales necesidades de la ciudad de Bucaramanga, indica que es posible implantar este tipo de sistema de transporte siempre y cuando cumpla con los parámetros que se establecen en la presentación de éste artículo, tales como la demanda del transporte público es alta, imposibilidad de mejorar el sistema de transporte público, expansión de la ciudad, crecimiento de la población, entre otras.

Los parámetros técnicos contemplados para la elaboración del presente proyecto, fueron determinados de acuerdo a la experiencia internacional cercana a la realidad de nuestras ciudades intermedias, como se pudo ver en el desarrollo del mismo. Muestran que es posible la implementación del sistema, siempre que se tengan en cuenta, y que se profundice más en materia de planeación del mismo, basta con

echar un vistazo a la situación actual que vive Bogotá que desde hace más de 60 años se encuentra en etapa de prefactibilidad y en la actualidad, apenas empieza a darse vía libre; lo que nos lleva a pensar que debemos aprender de ello y pensar en que las ciudades que a futuro puedan presentar éste tipo de problemática, hayan contemplado desde ya un sistema de transporte alternativo que les permita suplir las demandas de sus habitantes en materia de transporte.

Finalmente, se puede concluir a partir del modelo de simulación que la implementación de un sistema de transporte tipo metro en el Área Metropolitana de Bucaramanga, favorece la participación del usuario, más que otras alternativas utilizadas para disminuir el tráfico vehicular. Esto referente a que la transferencia del escenario es menor y el índice de pasajeros por kilómetro es mayor, lo que nos muestra que en el momento de implementar el sistema, este transportara más pasajeros que otro tipo de escenarios, como el implementado actualmente Metrolinea. La implementación del sistema tipo metro para el Área Metropolitana de Bucaramanga, tendrá una línea la cual abarcara desde la Cra. 27 # 28 Bucaramanga hasta I45A #2 Piedecuesta, constara de 17 estaciones: 4 subterráneas y 13 a nivel. Para esta investigación se optó por 8 CITADIS DUALIS – metros ligeros, que transportaran a 80000 pasajeros diarios en 18,5 Km.

## BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO GUERRA, Jorge. Evaluación del proyecto de construcción de un metro para Bogotá, Bogotá, 1991, Costos de capital del proyecto. 12p.
- ANAC. Asociación Nacional Automotriz de Chile. “Chile Lidera Crecimiento de tasa de Motorización en Latinoamérica”. {En línea}. {15 de Enero 2014}. Disponible en: ([http://www.anac.cl/web/index.php?option=com\\_docman&Itemid](http://www.anac.cl/web/index.php?option=com_docman&Itemid)).
- BOTERO GÓMEZ, Fabio. Historia del transporte público de Medellín: Medellín, 1998, Ciudad y Transporte. 12p.
- CARDENAS GRISALES, James. DELGADO VELASCO, Fernando. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Aldemar. SÁNCHEZ ORDOÑEZ, José. GONZÁLEZ IDROBO, Nancy. {asesores del consultor}. “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Cap. 7: Diseño Geométrico de Casos Especiales”. {En línea}. {23 de Enero de 2014}. Disponible en: ([ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Manual\\_de\\_Dise%C3%B1o\\_%20Geometrico\\_INV-2008/Geometrico/Capitulo%207.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Manual_de_Dise%C3%B1o_%20Geometrico_INV-2008/Geometrico/Capitulo%207.pdf)).
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. “Estadística Mercado de Trabajo: Datos Censo 2010 – 2001; E.P.H. Puntual. Evolución Tasas; E.P.H. Continua”. {En línea}. {16 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://estadisticas.tierradelfuego.gov.ar/wp-content/uploads/2013/07/Estad%C3%ADstica-de-trabajo.pdf>).
- DNP. Departamento Nacional de Planeación. “Ciudades Colombianas: Caracterización, oportunidades y desafíos”. {En línea}. {24 de Enero de 2014}.

Disponible

en:

(<https://www.dnp.gov.co/Programas/ViviendaAguayDesarrolloUrbano/DesarrolloUrbano/Ciudadescolombianascaracterizaci%C3%B3noportunidad.aspx>).

- EMPRESA DE TRANSPORTE MASIVO DEL VALLE DE ABURRÁ. “Metro de Medellín: El Metro de Hoy”. {En línea}. {19 de Enero 2014}. Disponible en: ([https://www.metrodemedellin.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=156&lang=es](https://www.metrodemedellin.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=156&lang=es)).

- ENAP. Empresa Nacional de Petróleo. “Informe semanal precios de combustible”. {En línea}. {18 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.enap.cl/pag/53/784/informe-precios>).

- FLECHAS ANZOLA. Carolina. Unimedios edición 107. “¿Elevado, superficial o Subterráneo?”. {En línea}. {23 de Enero de 2014}. Disponible en: (<http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/107/19.html>).

- IBM. Estudio de. “Problemática del tráfico Vehicular” {En línea}. {12 Enero de 2014}. Disponible en: (<http://trafico.weebly.com/traacutefico-en-el-mundo.html>).

- INE. Instituto Nacional de Estadísticas Chile. Sala de prensa. “Índice de costos del transporte, boletín del ICT”. {En línea}. {18 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.ine.cl/boletines/index.php>).

- LETELIER TRONCOSO. Francisco. “La Ciudad Intermedia: El desafío de formación de espacio público político urbano”. {En línea}. {20 de Enero de 2014}.

Disponible

en:

([http://www.intencionesdecuidad.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=233:la-ciudad-intermedia-el-desafio-de-formacion-de-espacio-publico-politico-urbano&catid=87:miradas&Itemid=292](http://www.intencionesdecuidad.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=233:la-ciudad-intermedia-el-desafio-de-formacion-de-espacio-publico-politico-urbano&catid=87:miradas&Itemid=292)).

- OFICINA ASESORA DE PRENSA. Alcaldía Mayor de Bogotá. “Grandes Obras para Bogotá, Para mejorar el medio ambiente y recuperar los ríos de la ciudad”. {En línea}. {23 de Enero de 2014}. Disponible en: ([www.acueducto.com.co](http://www.acueducto.com.co)).
- PRTER NOVELLI. Prensa. “Metrô rio (2014). Metrô em números”. {En línea}. {18 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://saladeimprensa.metrorio.com.br/sobre-o-metro-rio/metro-em-numeros/>).
- RINCÓN CÓRCOLES, Antonio. Espacio de transporte: una visión ilustrada. Metro de Bilbao, 1999. 211p.
- ULLOA ESPINOZA, Jorge. El Metro Una solución al problema del transporte urbano. México, 1975. 20p.
- WEB METRO DE SANTIAGO. “Metro de Santiago: Pasa por ti”. {En línea}. {15 de Enero 2014}. Disponible en: ([www.metrosantiago.cl](http://www.metrosantiago.cl)).
- ZONALITORAL. “Metros del Mundo: Principales metros de América del Sur”. {En línea}. {15 Enero de 2014}. Disponible en: ([www.metrodelmundo.com.ar](http://www.metrodelmundo.com.ar)).

## CITAS

[1] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DE PERÚ. Tren eléctrico para ganarle al tiempo. Lima, 2010. p. 26.

[2] BAWM SNOW. Nathaniel. E. KHAN, Matthew. Effects of Urban Rail Transit Expansions: Evidence From Sixteen Cities 1970 – 2000. {Consultado 16 de Enero 2014}. Disponible en: ([http://www.econ.brown.edu/fac/nathaniel\\_baum-snow/brook\\_final.pdf](http://www.econ.brown.edu/fac/nathaniel_baum-snow/brook_final.pdf)).

[3] OXFORD JOURNALS. The Landscape of Urban Influence on U.S. County Job Growth. {Consultado el 16 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://aepp.oxfordjournals.org/content/29/3/381.full.pdf>).

[4] LOUIS DE GRANGE C. El gran Impacto del Metro. <http://www.scielo.cl/pdf/eure/v36n107/art07.pdf> {Consultado el 16 de Enero 2014}.

[5] WEB METRO DE SANTIAGO. Nuestra Organización, Metro de Santiago. {Consultado el 21 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.metrosantiago.cl/corporativo>).

[6] DUARTE GUTERMAN & CIA LTDA. Secretaría Tránsito y Transporte. Formulación del Plan maestro de Movilidad para Bogotá D.C., que incluye ordenamiento de estacionamientos. {Consultado el 22 de Enero 2014}. Disponible en: ([http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx\\_archivos/ideofolio/08-TransportePublico\\_15\\_9\\_24.pdf](http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/ideofolio/08-TransportePublico_15_9_24.pdf)).

[7] THOMSON, Ian. Impacto de las tendencias sociales, económicas y tecnológicas sobre el transporte público: una investigación preliminar en ciudades de América

Latina. {Consultado el 22 de Enero 2014}. Disponible en:  
(<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/10436/LCL1717-P-E.pdf>).

[8] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Censo de población DANE 2005. {Consultado el 09 de Enero 2014}. Disponible en:  
(<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>).

[9] HERNÁNDEZ BERNAL, José Armando. BELTRÁN GARZÓN, José Gilberto. Análisis e incidencia del gasto en transporte Público de los hogares en las localidades de Usme y Ciudad Bolívar. {Consultado el 14 de Enero 2014}. Disponible en:  
(<http://www.revistas.lasalle.edu.co/index.php/ed/article/download/209/152>).

[10] MERCER. Encuesta de calidad de vida internacional 2012. {Consultado el 14 de Enero 2014}. Disponible en:(<http://latam.mercer.com/press-releases/encuesta-calidad-de-vida-mercer-2012>).

[11] CONPES. Concejo Nacional de Política y Económica y Social Republica de Colombia. Sistema integrado de transporte masivo para Bucaramanga y su área metropolitana – Seguimiento y modificación. {Consultado el 14 de Enero 2014}. Disponible en:  
(<https://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes/3552.pdf>).

[12] RÍOS, Salvador. Boletín No. 817. Bucaramanga, febrero 24 de 2012. [Consultado el 16 de Enero 2014]. Disponible en:  
(<http://www.metrolinea.gov.co/Noticia.php?id=75>).

[13] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Boletín Censo General 2005 DANE. {Consultado el 11 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>).

[14] AMB. Área Metropolitana de Bucaramanga. Plan Maestro de Movilidad Área Metropolitana de Bucaramanga 2011-2030. Situación de Partida: Evaluación preliminar del desempeño del transporte en el área metropolitana de Bucaramanga.

[15] RÍOS, Salvador. Boletín No. 979. Bucaramanga, febrero 18 de 2013. {Consultado el 11 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.metrolinea.gov.co/userfiles/boletin%20de%20prensa%20febrero%2018.pdf>).

[16] AMB. Área Metropolitana de Bucaramanga, Plan de Ordenamiento Territorial Área Metropolitana de Bucaramanga, herencia de todos, Bucaramanga, 2010. p 29.

[17] ARDILA RUEDA, Euclides. La carrera 33 de Bucaramanga, cada vez más deteriorada. {Consultado el 20 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/228517-la-carrera-33-de-bucaramanga-cada-vez-mas-deteriorada>).

[18] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Información estadística - DANE proyección de poblacional 2020. {Consultado el 12 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>).

[19] GIL MACHUCA, Adriana Katherine. VILLAMIZAR MEZA, Christian Orlando. Estudio de viabilidad técnica y económica del soterramiento de la carrera 27 en la ciudad de Bucaramanga, para el uso del SITM, Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.

[20] PERRI, Gianfranco. SAFINA, Salvador. Estaciones Subterráneas del Metro de Caracas y del Metro de Valencia Construidas con Método Invertido. {Consultado el 24 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.gianfrancoperri.com/Documents/94-2008%20Estaciones%20subterraneas%20del%20Metro%20de%20Caracas%20y%20de%20Valencia%20construidas%20con%20metodo%20invertido.pdf>).

[21] BOCAREJO, Juan Pablo. VELÁSQUEZ, Juan Miguel. GÓMEZ, Julián. ACEVEDO, Jorge. PÁEZ, Daniel. GUERRA, Gonzalo. GUZMÁN, Luis Ángel. Revisión de estudios preliminares y desafíos de Implementación de un sistema de transporte masivo en la carrera 7° en Bogotá. {Consultado el 26 de Enero 2014}. Disponible en: (<https://ingenieria.uniandes.edu.co/grupos/sur/images/Presentaciones/trenligerovff.pdf>).

[22] TELLO DE MENESES, Roberto Remes. Trenes Urbanos y Suburbanos para México, una inversión necesaria y urgente. {Consultado el 24 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2816/14.pdf>).

[23] CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPUBLICA. Evaluación de la gestión financiera y legal del metro de Medellín, Santafé de Bogotá D.C. 1994, El transporte tipo metro: Experiencias Internacionales, Costos. p 35.

[24] ASTETE CHUQUICHAICO, Rolando Gandhi. Metodología para mejorar el proceso de Asignación de Tráfico a Una Red de Transporte. {Consultado el 30 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/857>).

[25] MÖLLER, Oscar. SIGNORELLI, Javier W. STORTI, Mario A. Modelización del Sistema de Transporte de Rosario. {Consultado el 30 de Enero 2014}. Disponible en: (<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/3959/3876>).

## ANEXOS

### Anexo A. Primer escenario Propuesto para la implementación del Sistema – Simulación en TransCAD.

<b>Escenarios 1</b>	<b>Metrolinea</b>	Lagos - Quebradaseca	Provenza - Reposo
		Españolita - Centro	El carmen - La cumbre - Villa Luz
		Cumbre - Centro	Provenza - La trinidad Portón del Tejar - Zapamanga
		Villabel - Carreras 21 y 22	Provenza - Bellavista
		Bucarica - UIS	Lagos Limoncito
		Bucarica - Cañaveral	Lagos - Versalles
		Lagos - UIS	Cañaveral - Palomitas
		Piedecuesta - Carrera 33	Refugio
		Provenza - Carrera 33	Puerto Nuevo
		Provenza - Ciudadela real de Minas - Quebradaseca - UIS	Nueva Colombia
		Cañaveral - Lagos	Campo Verde
		Provenza - Porvenir	Centro
		Provenza - Venecia	Tejaditos
		Provenza - Comultrasan	Paseo del Puente
		Cristal Alto - Cristal Bajo	Cisnes
		Pan de Azucar - Carrera 33 - Centro	Terminal

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Anexo B.** Segundo escenario Propuesto para la implementación del Sistema – Simulación en TransCAD.

Escenarios 1	Metrolinea	Lagos - Quebradaseca	Provenza - Reposo
		Españolita - Centro	El camen - La cumbre - Villa Luz
		Cumbre - Centro	Provenza - La trinidad Portón del Tejar - Zapamanga
		Villabel - Carreras 21 y 22	Provenza - Bellavista
		Bucarica - UIS	Lagos Limoncito
		Bucarica - Cañaveral	Lagos - Versalles
		Lagos - UIS	Cañaveral - Palomitas
		Piedecuesta - Carrera 33	Refugio
		Provenza - Carrera 33	Puerto Nuevo
		Provenza - Ciudadela real de Minas - Quebradaseca - UIS	Nueva Colombia
		Cañaveral - Lagos	Campo Verde
		Provenza - Porvenir	Centro
		Provenza - Venecia	Tejaditos
		Provenza - Comultrasan	Paseo del Puente
		Cristal Alto - Cristal Bajo	Cisnes
Pan de Azucar - Carrera 33 - Centro	Terminal		
escenarios 2	Metrolinea	Lagos - Quebradaseca	Provenza - Reposo
		Españolita - Centro	El camen - La cumbre - Villa Luz
		Cumbre - Centro	Provenza - La trinidad Portón del Tejar - Zapamanga
		Villabel - Carreras 21 y 22	Provenza - Bellavista
		Bucarica - UIS	Lagos Limoncito
		Bucarica - Cañaveral	Lagos - Versalles
		Lagos - UIS	Cañaveral - Palomitas
		Piedecuesta - Carrera 33	Refugio
		Provenza - Carrera 33	Puerto Nuevo
		Provenza - Ciudadela real de Minas - Quebradaseca - UIS	Nueva Colombia
		Cañaveral - Lagos	Campo Verde
		Provenza - Porvenir	Centro
		Provenza - Venecia	Tejaditos
		Provenza - Comultrasan	Paseo del Puente
		Cristal Alto - Cristal Bajo	Cisnes
	Pan de Azucar - Carrera 33 - Centro	Terminal	
	Metro	Biblioteca Turbay - Parque mejoras Públicas (Calle 37 #26 - 99)	Molinos - Cañaveral
		Parque mejoras Públicas - Parque Turbay (Cra. 27 # 50 - 68)	Cañaveral - Lagos
		Parque Turbay - clinica Cafesalud	Lagos - La estancia
		Clinica Cafesalud - Diamante EA	La estancia - Menzuli
Diamante EA - Provenza		Menzuli - Palmichal	
Provenza - Payador	Palmichal - Campoalegre		
Payador - Homigueros	Campoalegre - La españolita		
Homigueros - Molinos	La españolita - Terminal Piedecuesta		

**Fuente:** Elaboración Propia.