

**FORMULACIÓN DE UN SISTEMA A NIVEL DE PRE FACTIBILIDAD, DE UN
TRANSPORTE COLECTIVO TIPO MONORRIEL DESDE EL SECTOR DE
PROVENZA HASTA EL HOSPITAL UNIVERSITARIO GONZÁLEZ VALENCIA**

**LUIS MIGUEL GUIZA DOMINGUEZ
PAULA ANDREA VILLAMIL MATEUS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**FORMULACIÓN DE UN SISTEMA A NIVEL DE PRE FACTIBILIDAD, DE UN
TRANSPORTE COLECTIVO TIPO MONORRIEL DESDE EL SECTOR DE
PROVENZA HASTA EL HOSPITAL UNIVERSITARIO GONZÁLEZ VALENCIA**

**LUIS MIGUEL GUIZA DOMINGUEZ
PAULA ANDREA VILLAMIL MATEUS**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Civil

**Director
LUIS DAVID ARÉVALO DURÁN
Esp. en Tránsito y Transporte**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi mamá Celia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por nunca haberse rendido conmigo y ser mi compañera fiel de vida.

A mis hermanas Vane y Merly por su apoyo incondicional y siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi abuela, Thomas, mis tíos y demás familiares que de una u otra manera contribuyeron a que este sueño fuera posible.

A mis amigos los cuales siempre estuvieron dándome su apoyo. A Daniel gracias por su amor y su apoyo en este proceso.

Paula Andrea Villamil Mateus

A mis padres, Denys y Libardo por su respaldo incondicional, ser mi soporte en las buenas y en las malas y siempre confiar en mí.

A Tatiana por su apoyo y cariño, mis amigos quienes contribuyeron en el desarrollo y a todas las personas que aportaron su grano de arena.

Luis Miguel Güiza Domínguez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. TRANSPORTE MASIVO.....	16
1.1 HISTORIA DEL FERROCARRIL EN AMÉRICA LATINA.....	17
1.2 TRANSPORTE FÉRREO LIGERO	18
1.3 ALTERNATIVAS ACTUALES COMPLEMENTARIAS AL TRANSPORTE MASIVO	23
1.3.1 Sistema de autobús de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT).....	24
2. SISTEMA MONORRIEL PROPUESTO	26
2.1 ZONA DE ESTUDIO	26
2.2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL RECORRIDO DEL MONORRIEL ..	28
2.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES TIPO	29
2.3.1 Requerimientos de una estación:.....	30
2.3.2 Elementos de una estación:.....	30
2.3.2.1 Accesos:	30
2.3.2.2 Pasillos.....	32
2.3.2.3 Escaleras:	34
2.3.2.4 Vestíbulo	35
2.3.2.5 Andenes.....	35
2.4 TIPOS DE ESTACIONES	36
2.4.1 Estaciones Centrales:	36
2.4.2 Estaciones Laterales:.....	37
3. ANÁLISIS DE LA POSIBLE DEMANDA DE VIAJES	38
3.1 CARGA MÁXIMA DE PASAJEROS HORARIA	38
3.1.1 Estudio de ascenso y descenso de pasajeros.	38
3.1.1.1 Ruta AB2 (Porvenir-Cra 33-UIS).....	39

3.1.1.2 Ruta P8 (Portal del Valle – Cra 33 – Parque Estación UIS).....	40
3.1.1.3 Ruta P13 (Portal del Valle – Cra 33 – Parque Estación UIS).....	40
3.1.2 Matriz origen destino.....	41
3.2 LONGITUD DEL RECORRIDO DEL SISTEMA MONORRIEL	44
3.3 VELOCIDAD LIBRE O COMERCIAL.....	44
3.4 TIEMPO DE CIRCULACIÓN EN LA VÍA.....	44
3.5 TIEMPO EN PARADAS	45
3.6 FLOTA	45
3.7 NÚMERO DE RECORRIDOS.....	46
3.8 CAPACIDAD DEL VEHÍCULO.....	46
3.9 RECORRIDOS POR DÍA – RPD	46
3.10 CICLO.....	46
3.11 INTERVALO DE PASO O FRECUENCIA.....	47
4. CAPACIDAD VIAL DEL CORREDOR	48
4.1 CAPACIDAD VIAL SEGÚN HCM 2.000	48
4.1.1 Condiciones de la vía.....	48
4.1.1.1 Características geométricas de la vía	49
4.1.2 Condiciones del tránsito.....	49
4.2 NIVEL DE SERVICIO SEGÚN HCM2000 PARA VÍAS URBANAS.....	51
5. COSTOS APROXIMADOS DEL SISTEMA MONORRIEL	55
6. CONCLUSIONES	58
7. RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tranvía de la línea 6 de Metrovalencia en España.	19
Figura 2. Línea 3 del tren ligero de Guadalajara.	20
Figura 3. Metro de Medellín.	21
Figura 4. Tren regional Alemania.	22
Figura 5. Monorriel Las Vegas Strip.	23
Figura 6. Transmilenio Bogotá, Colombia.	25
Figura 7. Zona de estudio del sistema monorriel.	26
Figura 8. Ruta del sistema monorriel.	27
Figura 9. Ruta del sistema monorriel propuesto con la ubicación de las estaciones.	29
Figura 10. Área de cobertura para las estaciones.	31
Figura 11. Zonas de comodidad para un usuario.	33
Figura 12. Niveles de servicio para tránsito peatonal.	33
Figura 13. Dimensiones mínimas recomendadas para la cabina del ascensor.	35
Figura 14. Tipos de andenes.	36
Figura 15. Estaciones centrales en la ruta monorriel.	37
Figura 16. Estaciones laterales en la ruta monorriel.	37
Figura 17. Zonificación de la matriz origen destino.	42
Figura 18. Matriz origen destino.	42
Figura 19. Movimientos de aforo en la intersección carrera 33.	50

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características generales del sistema monorriel.	27
Tabla 2. Estaciones del sistema monorriel.	28
Tabla 3. Estaciones del sistema monorriel con su tipo de acceso y radio de cobertura.....	32
Tabla 4. Capacidad pasillo propuesto para el sistema monorriel.....	34
Tabla 5. Carga máx. Total de pasajeros.	41
Tabla 6. Proyección viajes año 2018.	43
Tabla 7. Características geométricas de la carrera 33.....	49
Tabla 8. Clasificación de la función de la calle y diseño	52
Tabla 9. Clasificación para calles urbanas basadas en funcionalidad y diseño.	52
Tabla 10. Clasificación de calles urbanas por velocidad a flujo libre.	53
Tabla 11. Niveles de servicio para calles urbanas.	54
Tabla 12. Factores de costos.....	55
Tabla 13. Monorrieles del mundo y sus costos.	56
Tabla 14. Costo aproximado del monorriel	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tabla de datos para estudio de ascenso y descenso de pasajeros.	64
Anexo B. Perfil de carga ruta AB2	65
Anexo C. Perfil de carga ruta P8.....	66
Anexo D. Perfil de carga ruta P13.....	67
Anexo E. Cálculo de flota para el sistema monorraíl propuesto.....	68
Anexo F. Tabla de toma de datos de aforo vehicular.....	69
Anexo G Tabla de resultados de vehículos equivalentes en la intersección.....	70
Anexo H. Tabla de resultados de vehículos en sentido norte sur.	71
Anexo I. Tabla de resultados de vehículos en sentido sur norte.....	72

RESUMEN

Titulo. FORMULACIÓN DE UN SISTEMA A NIVEL DE PRE FACTIBILIDAD, DE UN TRANSPORTE COLECTIVO TIPO MONORRIEL DESDE EL SECTOR DE PROVENZA HASTA EL HOSPITAL UNIVERSITARIO GONZÁLEZ VALENCIA.*

Autor: Luis Miguel Guiza Dominguez
Paula Andrea Villamil Mateus **

Palabras Clave: Congestión, Monorriel, Corredor vial, transporte colectivo

En Bucaramanga el tránsito vehicular ha ido creciendo de manera exponencial en los últimos años debido al aumento demográfico producto de la alta migración de foráneos en busca de mejores oportunidades en una de las principales ciudades del país, al incremento de unidades vehiculares producto del aumento poblacional y a la mala implementación de un sistema integrado de transporte masivo, el cual desde sus inicios contó con diversos problemas debido a la irregular implementación del sistema y el no contar con calzadas o carriles exclusivos en buena parte de la ciudad. Esto, sumado la deficiente capacidad de las vías existentes ha agravado la movilidad en la capital santandereana, llegando a estar ubicada en el puesto once del ranking de las peores ciudades con peor experiencia para conductores en el mundo, el quinto en Latinoamérica y el segundo en Colombia, sólo superado por Cali

La implementación de un sistema de transporte colectivo tipo Monorriel busca mitigar el tráfico vial en la ciudad, así mismo, disminuir el tiempo de viaje de los usuarios que se transportan por el corredor vial donde se desea implementar este sistema.

Este proyecto expone como corredor vial principal de estudio la carrera 33, iniciando el recorrido en el sector de Provenza hasta el Hospital Universitario Gonzáles Valencia, se pretende demostrar la viabilidad del sistema de transporte tipo Monorriel en esta zona como solución a la congestión vial; inicialmente se realizara un análisis del alineamiento, la capacidad vial del corredor y una posible oferta y demanda general del servicio, esto se desarrollara a partir de estudios de tránsito, toma de ascenso y descenso de pasajeros, toma de velocidades en rutas de servicio, entre otros. Finalmente, se hará una evaluación de costos aproximados del proyecto mediante conceptos socioeconómicos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director Luis David Arévalo Durán

ABSTRACT

Title. FORMULATION OF A SYSTEM AT THE PRE-FEASIBILITY LEVEL, OF A TYPE MONORRIEL TRANSPORTATION FROM THE PROVENCE SECTOR TO THE UNIVERSITY HOSPITAL GONZÁLEZ VALENCIA *

Author: Luis Miguel Guiza Dominguez
Paula Andrea Villamil Mateus **

Key Words: Congestion, Monorail, Road corridor, collective transport

In Bucaramanga vehicular traffic has been growing exponentially in recent years due to the demographic increase due to the high migration of foreigners in search of better opportunities in one of the main cities of the country, to the increase of vehicular units product of the population increase and the poor implementation of an integrated mass transport system, which from its inception had various problems due to the few studies that were carried out before its establishment and possibly the most serious is not having an exclusive road in much of the city This, added to the small size of the existing roads, has aggravated mobility in the Santander capital, reaching the eleventh place in the ranking of the worst cities with the worst experience for drivers in the world, the fifth in Latin America and the second in Colombia, second only to Cali

The implementation of a collective transport system type Monorail seeks to mitigate traffic in the city, likewise, reduce the travel time of users who are transported by the road corridor where you want to implement this system.

This project exposes the carrera 33 main road corridor, starting the route in the sector of Provenza to the Hospital Universitario Gonzales Valencia, pretending to demonstrate the viability of the Monorail transport system in this area as a solution to road congestion; Initially an analysis of the alignment, the road capacity of the corridor and a possible supply and demand general of the service will be carried out, this will be developed from traffic studies, passenger ascent and descent, speeding in service routes, others. Finally, an evaluation of approximate costs of the project will be made through socio-economic concepts.

* Degree work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering School of Civil Engineering Director Luis David Arévalo Durán

INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte público de pasajeros debe operar de manera eficiente y ser planificado integralmente, considerando todos los demás sistemas de transporte. De este modo se alcanzaría no sólo el objetivo principal de traslado de un lugar a otro, sino que se promovería la estructuración del tejido urbano según una planificación estratégica, junto con el desarrollo integral de la sociedad, el ambiente y la economía¹.

En los últimos años, simultáneo al crecimiento poblacional acompañado por una mayor demanda de movilidad y al poco eficiente servicio prestado por la empresa de transporte, se generó una mayor utilización de vehículos particulares, los cuales no solo son de uso privado, generando diferentes ofertas en la prestación del servicio que algunas veces carece de legalidad, lo que incrementó las situaciones de congestión y contaminación, sumado a una escasa aplicación de políticas estructuradas en el transporte urbano.

Actualmente, en el área metropolitana de Bucaramanga se presentan estos problemas de movilidad y congestión. Los problemas del desempeño de transporte se asocian con manifestaciones que afectan directamente a los usuarios y que, por tanto, son claramente identificables por los mismos. De las manifestaciones de la problemática del transporte, más evidentes son, la congestión y la accidentalidad. Estas manifestaciones, además de ser problemas en sí, desencadenan otra serie de dificultades, como las restricciones de movilidad y accesibilidad (por los altos

¹ MARTÍNEZ, L. E., & VALLE, J. N. Transporte Público: Una mirada desde la Ciencia Política. *Publicado en la Plataforma de información para políticas públicas de la Universidad Nacional de Cuyo*. 2011

tiempos de viaje o la falta de servicios) y los aumentos en costos de operación y en contaminación ambiental, entre otros.²

Con este proyecto, se busca evaluar y proponer la viabilidad de un sistema de transporte masivo tipo monorraíl sobre la carrera 33, iniciando recorrido desde la estación de Metrolínea 'Provenza' hasta el Hospital Universitario Gonzáles Valencia. Se escoge esta vía, por encontrarse en estado crítico, debido a problemas de movilidad causados principalmente por los buses colectivos, problema que antes se presentaba en la carrera 15, pero, con la implementación de la vía exclusiva de Metrolínea se trasladó hacia la carrera 33, agravando así la movilidad en este importante corredor debido al incremento en el número de automotores que se movilizan diariamente a través de esta vía. Este aspecto, sumado a otros inconvenientes como el aumento de vehículos de carácter privado transitando en este sector por una reducida capacidad vial genera contratiempos en el tráfico, entre otras externalidades.

² UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (BUCARAMANGA). ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL. GEOMÁTICA, GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS, & GÓMEZ, A. A. *Plan maestro de movilidad Bucaramanga: 2010-2030*. Universidad Industrial de Santander. 2010

1. TRANSPORTE MASIVO

El transporte público en América Latina, se ha caracterizado por el constante esfuerzo de mejorar su cobertura y calidad de servicio. Varias ciudades han hecho un esfuerzo significativo por construir sistemas de transporte férreos a lo largo del siglo XX. También se ha contado con intentos de mejoría en el transporte público convencional, donde una organización de propietarios y compañías que prestan el servicio de transporte público estaban a cargo de la movilización de una gran parte de viajes de este transporte en distintas ciudades.

Los sistemas integrados de transporte masivo SITM se fundamentan en una nueva infraestructura para el transporte urbano de pasajeros compuesto de carriles exclusivos, buses articulados y paradas fijas, estos sistemas de transporte solucionan parcialmente problemas sectoriales de transporte, transforman y revitalizan la estructura urbana en general, haciendo a las ciudades más atractivas para actividades comerciales y residenciales. En cuanto a su función, este sistema de transporte busca agilizar la movilidad de los usuarios y disminuir el tiempo de viaje entre origen destino.

Este nuevo modelo de gestión urbana exige la coordinación entre niveles de gobierno en cuanto a la planeación y financiación, entre entidades territoriales en cuanto a la escala de los proyectos; y la articulación entre inversión pública y privada en todas las etapas del proyecto.

Se tiende a pensar que los grandes proyectos de transporte masivo son en general iniciativa de las ciudades, pero en Colombia y otros países de América Latina parece ser distinto. Lo que empezó como un proyecto emblemático de iniciativa local (el Transmilenio de Bogotá), que luego se convirtió en un ejemplo mundial y ha

generado cientos de estudios y visitas de delegaciones extranjeras a esta ciudad, es ahora un programa nacional (de Sistemas Integrados de Transporte Masivo, en adelante SITM), replicado en varias ciudades y áreas metropolizadas, en un proceso de re contextualización en los nuevos territorios³.

En Colombia, varias ciudades han instaurado sistemas integrados de transporte que pretenden ofrecer una amplia cobertura mediante diferentes metodologías de transporte con el fin de mitigar el congestionamiento y ofrecer una mejor calidad de vida a los usuarios, en grandes ciudades como Barranquilla, Bogotá, Cartagena, Bucaramanga, Cali, Medellín y Pereira ya funcionan estos SITM Transmetro, Transmilenio, Transcaribe, Metrolinea, MIO, Metroplus y Megabus, respetivamente.

La problemática que enfrenta actualmente el área metropolitana de Bucaramanga permite que se puedan evaluar alternativas de este sistema de transporte integrado masivo con el objetivo de mejorar la movilidad de los usuarios y buscar una solución efectiva a la situación vehicular que se presenta diariamente en la ciudad, también buscando generar la transformación movilitica, paisajística, arquitectónica, económica, comercial, residencial para los habitantes de Bucaramanga y su área metropolitana.

1.1 HISTORIA DEL FERROCARRIL EN AMÉRICA LATINA

El primer esfuerzo en mejorar los sistemas de transporte público en América Latina fue implementando los sistemas férreos en ciudades grandes principalmente capitales, para contrarrestar las características y el impacto negativo que el transporte público tradicional estaba enfrentando.

³ HURTADO, A., TORRES, A., & MIRANDA, L. El programa de sistemas integrados de transporte masivo en Colombia: ¿un ejemplo de recentralización de la gestión de las ciudades?. *Territorios*, 2(25), 95-120. 2011

Los sistemas férreos construidos en América Latina se remontan a 1913 en Buenos Aires, y fueron construidos en los países con mayor capacidad de grandes inversiones y endeudamiento. La calidad de prestación del servicio mejoro significativamente en ciudades donde se construyeron estos sistemas férreos como Buenos Aires en 1913, México en 1968, Sao Paulo en 1974, Santiago en 1975, Rio de Janeiro en 1979, Caracas en 1983, Medellín en 1995. En términos generales, los demás corredores de la ciudad siguieron funcionando con el sistema de transporte público tradicional.

1.2 TRANSPORTE FÉRREO LIGERO

- **Tranvía:**

Es un medio de transporte que generalmente se utiliza en las áreas urbanas opera con un solo carro, pero se le puede acomodar una o dos unidades más. Su operación generalmente es en calles con transito mixto lo que hace que su operación y velocidad dependa de las condiciones de tráfico, siendo estas menores a 20 km/hora. Un modelo de este vehículo presenta entre 4 a 6 ejes con una longitud total de 14 a 21 metros, las capacidades que presentan están entre 100 a 180 pasajeros, de los cuales de un 20 a un 40% van sentados. La *figura 1* ilustra este tipo de vehículo.

Figura 1. Tranvía de la línea 6 de Metrovalencia en España.



Fuente: WIKIPEDIA Tranvía Metrovalencia [en línea] disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_6_\(Metrovalencia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_6_(Metrovalencia)).

- **Tren ligero:**

Es la idea moderna del tranvía, al cual se le han mejorado aspectos tecnológicos y operativos. Circula en gran parte de su recorrido por una plataforma parcial o totalmente segregada del tráfico rodado y en algunos casos tienen prioridad semafórica. Es un medio de transporte que puede operar con 3 carros y presenta capacidad de transportar hasta el 50% de los pasajeros sentados. Tiene avances tecnológicos en los sistemas de comunicación con los pasajeros, controles en los motores para evitar derrapamientos de las ruedas metálicas así como sistemas regenerativos de energía. Son vehículos articulados de seis u ocho ejes con una longitud que va de los 20 a 30 metros y algunos presentan escalones para abordar. En la *figura 2* se ilustra este tipo de vehículo.

Figura 2. Línea 3 del tren ligero de Guadalajara.



Fuente: ROTATIVO Nuevo tren ligero de Guadalajara tiene alta tecnología en seguridad. [en línea] disponible en: <https://rotativo.com.mx/ciencia-tecnologia/593096-nuevo-tren-ligero-guadalajara-alta-tecnologia-seguridad/>

- **Metro:**

Es el medio de transporte óptimo para corredores de gran capacidad, en el cual su derecho de vía está completamente separado por lo cual no presenta interferencias externas. Su guía es simple y la tracción es eléctrica, cuenta con equipos de seguridad que permiten las velocidades máximas que se puedan lograr para espaciamientos entre estaciones dadas, así como, las permitidas por la comodidad del usuario. Su operación es siempre en trenes pudiendo llegar hasta los diez carros y cada carro cuenta con cuatro ejes. La longitud total de cada carro de metro varía entre los 16 y los 23 metros, con un ancho de 2.5 a 3.2 metros. La capacidad por cada carro es del orden de 120 a 250 espacios, de los cuales del 25 al 60% son asientos.

La recolección de las tarifas siempre se hace fuera de los trenes y cuentan con plataformas de acceso a los carros, lo cual permite ascensos y descensos simultáneos. Estas características hacen que los ascensos y descensos sean de 3 a 5 veces más rápidos que en el caso del tren ligero y de 10 a 20 veces que en caso de los autobuses. En algunos sistemas de metro, se tienen estaciones sin personal,

operación automática de trenes y un puesto de control central de la red. Por consecuencia, es en el metro en donde se realizan las mayores inversiones en el transporte⁴. En la *figura 4* se ilustra este tipo de vehículo.

Figura 3. Metro de Medellín.



Fuente: WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE El colombiano. Metro de Medellín será gratuito por elecciones. [en línea] disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Medell%C3%ADn

- **Tren regional**

Se entiende por tren regional a los servicios locales de trenes interurbanos, los cuales presentan normas técnicas y operacionales muy altas. Generalmente, son operados por las compañías férreas en sus propios derechos de vía, con vehículos de tracción eléctrica o diésel.

Generalmente consisten en líneas radiales del centro de una ciudad de gran tamaño a puntos suburbanos. Este servicio casi siempre opera en conjunto con otros medios de acceso, como lo son rutas de autobuses alimentadoras, automóviles (estacionamientos de transferencia) y el peatón.

⁴ MOLINERO MOLINERO, A., & SÁNCHEZ ARELLANO, L. I. *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración* (No. Sirsi) i9688353531)1997

Tienen carros que cuentan con 130 asientos y carros de dos niveles con 175 asientos. En *la figura 5* se observa un vehículo de este modelo.

Figura 4. Tren regional Alemania.



Fuente: GLOBEDIA CAF desembarca en Alemania donde optará al suministro de 400 trenes regionales. [en línea] disponible en: <http://es.globedia.com/caf-desembarca-alemania-optara-suministro-400-trenes-regionales>

- **Monorriel**

Un monorriel es el sistema de traslado o transporte que trabaja de manera pública, que lleva consigo un pequeño tráfico de personas o carga de pasajeros a diferentes localidades, este tiene vagones que se desplazan gracias a una viga que posee un solo riel. Existen dos formas de desplazarse, sobre el riel o suspendido en el aire.

- ✓ **Suspendidos:** Por lo general son menos comunes en las ciudades, ya que se desplazan por un sistema de ruedas. Las ruedas en este diseño son movidas por dentro de las vigas. Se impulsan además por inducción lineal o bien un sistema eléctrico, Son conducidos manual o automáticamente.
- ✓ **Sobre Riel:** Se encuentran sobre una viga de hormigón armado entre 0.5 m o 1m, son los más comunes en las ciudades.

El monorriel nació para el año de 1988 y hasta ahora se ha modernizado con el pasar de los años, este es considerado como un **transporte público**⁵.

Figura 5. Monorriel Las Vegas Strip



Fuente: TRIPADVISOR Reviews-Las_Vegas_Monorail-Las_Vegas_Nevada. [en línea] disponible en: https://www.tripadvisor.co/Attraction_Review-g45963-d7751577-Reviews-Las_Vegas_Monorail-Las_Vegas_Nevada.html

1.3 ALTERNATIVAS ACTUALES COMPLEMENTARIAS AL TRANSPORTE MASIVO

Ante la dificultad de conseguir grandes inversiones en el sector del transporte que den respuesta al problema creciente de transporte público automatizado y desorganizado, surgió una solución basada en buses denominada sistemas de transporte masivo STM que fue madurando desde la década de 1970: Un sistema denominado BRT o bus rápido, sistemas de trenes totalmente segregados (metros pesados) y sistemas de trenes parcialmente segregados Metros ligeros, Light Rail Transit, LRT.

⁵ MODUTRAM ¿Qué es un monorriel?. [en línea] disponible en: <http://www.modutram.com/2016/12/02/que-es-un-monorriel/>

1.3.1 Sistema de autobús de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT) Estos sistemas consisten en un corredor exclusivo para buses, complementado por una reorganización del esquema contractual y de la prestación del servicio, así como una adecuación de características de sistemas férreos a un sistema basado en buses; por ejemplo pago de pasaje en estaciones, programación de los servicios mediante un centro de control, estaciones como componente central del sistema, entre otras características⁶.

El sistema de bus rápido busca integrar los operadores existentes de transporte público, al mismo tiempo que busca reemplazar el sistema tradicional por el bus rápido. Las principales características de este sistema incluyen la infraestructura exclusiva que crea carriles exclusivos para la circulación de los buses, vehículos de gran desempeño y capacidad normalmente articulados con capacidad para 160 pasajeros, reorganización institucional se determina un arreglo institucional específico para la gestión, control y operación del sistema puede ser público o privado, gestión adecuada de la operación y el pago de tiquete en estación hace más rápido el servicio y los tiempos de desplazamiento se reducen.

Todas estas características hacen el BRT como un sistema principal de prestación de servicio transporte masivo en varias ciudades principales, mientras que en otras se ve como un complemento a los sistemas de transporte masivos ya existentes.

⁶ PARDO, C. F. Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina 2009

Figura 6. Transmilenio Bogotá, Colombia.



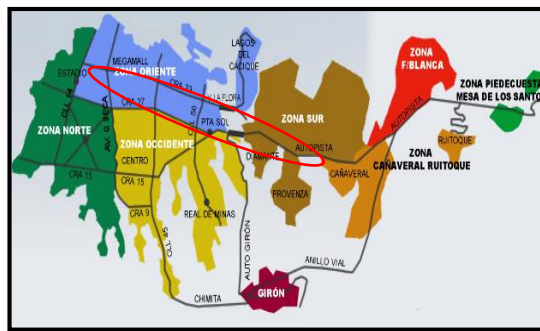
Fuente: WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE Transmilenio Bogotá [en línea] disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/TransMilenio>

2. SISTEMA MONORRIEL PROPUESTO

2.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio del proyecto se encuentra en la parte Sur-Oriental de la ciudad, comprendiendo el sector de Cabecera por la carrera 33, el viaducto la Flora, Diamante y Provenza, como se muestra en la figura 1.

Figura 7. Zona de estudio del sistema monorriel.



Fuente: GOOGLE MAPS. [en línea] disponible en: <https://www.google.com/maps/@7.136474,-73.1172572,15z>

La ruta seleccionada para la implementación del monorriel es la carrera 33 como principal vía, el recorrido del monorriel es desde el hospital Universitario Gonzales Valencia hasta el sector Provenza; este tipo de transporte monorriel contempla la integración con el sistema de transporte masivo Metrolínea (actual) con el fin de brindar un mayor beneficio económico y social a la comunidad. Con este sistema de transporte se busca que los vehículos privados y públicos remanentes transiten por la vía en niveles de servicio adecuados, debido a que el monorriel es un sistema de transporte elevado que aporta una solución a la demanda de viajes, al desestimulo

del uso del auto particular y el ahorro de tiempo de viaje. En proyectos similares se han encontrado ahorros de tiempos de viaje por usuario de 15 minutos.⁷

Figura 8. Ruta del sistema monorriel.



Fuente: GOOGLE MAPS. [en línea] disponible en: <https://www.google.com/maps/@7.136474,-73.1172572,15z>

El sistema monorriel propuesto de impacto para el área metropolitana de Bucaramanga, es similar al monorriel de las Vegas Strip debido a las similitudes en la densidad poblacional y en la línea del monorriel.

Se optará por un modelo de tecnología tradicional, monorriel elevado sobre rieles de metal que se ajustan a sus neumáticos.

Tabla 1. Características generales del sistema monorriel.

Tipo de monorriel	ALWEG- Bombardier M-VI
Longitud del monorriel	41.8 m
Longitud de cabina	2 cabinas cada una de 8.6 m
Longitud de vagón	2 vagones cada uno de 12.3 m
Longitud de la ruta propuesta	4,6 Km
Velocidad real o comercial propuesta	35 Km/hora
Velocidad Operacional	40 Km/hora
Capacidad por vagón	120 pax
Número de Estaciones	10

⁷ Estudios de evaluación socioeconómico de la primera línea del metro para Bogotá. (IDU)

Las columnas de concreto reforzado, tendrán una altura entre 6 a 12 metros, con un diámetro de 36” y una distancia de 35 metros entre ellas.

2.2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL RECORRIDO DEL MONORRIEL

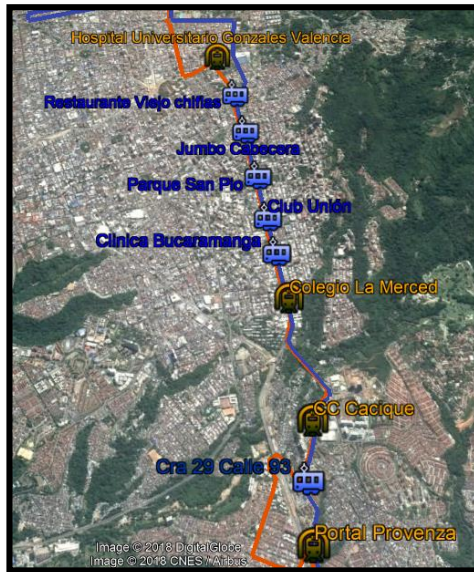
Las estaciones del sistema serán ubicadas de acuerdo a la demanda de pasajeros con el fin de transportar la mayor cantidad de pasajeros y cubrir la totalidad de viajes deseados por los usuarios.

Actualmente el sistema de transporte masivo Metrolínea, cuenta con algunas estaciones sobre el corredor de estudio, las cuales han tenido aprobación por parte de los usuarios. Para nuestra propuesta se mantendrán algunas de estas paradas y otras podrán ser sujetas de modificación. En la literatura y de acuerdo con el HCM recomiendan intervalos de distancia de 400 a 600 metros entre las estaciones para este tipo de sistemas.

Tabla 2. Estaciones del sistema monorriel.

# ESTACIÓN	ESTACIÓN
1	Hospital Universitario Gonzales Valencia
2	Viejo Chiflas - Carrera 33 con calle 34
3	Jumbo - Carrera 33 con calle 41
4	Parque San Pio
5	Club Unión - Carrera 33 con calle 49
6	Clínica Bucaramanga
7	Colegio La Merced - Con calle 56
8	Centro Comercial Cacique
9	Cra 29 con calle 93
10	Provenza

Figura 9. Ruta del sistema monorriel propuesto con la ubicación de las estaciones.



Fuente: GOOGLE MAPS. [en línea] disponible en: <https://www.google.com/maps/@7.136474,-73.1172572,15z>

2.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES TIPO

Las estaciones son el componente de acceso al sistema. La ubicación de las estaciones se plantea de acuerdo con las características de los centroides y nodos de las distintas zonas que hacen parte del corredor de la carrera 33, cercanos a lugares donde exista alta densidad de trabajo, hogares, locales comerciales y atracción de viajes, en consideración al análisis realizado a la matriz de viajes.

Las estaciones de paso son aquellas donde el sistema realiza su recorrido de forma normal hasta llegar a la siguiente estación, no existe transbordo de pasajeros. Las estaciones terminales son aquellas donde inicia o finaliza el ciclo de la ruta y las estaciones de transferencias son aquellas donde se facilita el intercambio de

pasajeros, con otro medio de transporte (autobús-metro), en los casos en los cuales exista integración física, operativa y tarifaria. ⁸

2.3.1 Requerimientos de una estación: Los requerimientos empleados para el diseño de una estación son, del usuario, del prestatario del servicio y de la comunidad. Como primera instancia se debe dar prioridad al usuario a quien le interesa que el tiempo y la distancia del recorrido sea mínima, tener un fácil acceso a las demás rutas del sistema, disfrutar de la comodidad a través de un diseño funcional protegido de la intemperie con poco uso de escaleras, no obstante para el sistema monorraíl ofrecido es básico la adecuación de escaleras, ascensores y rampas de acceso para los usuarios, fácil ascenso y descenso de pasajeros, seguridad y buena iluminación.

El prestatario del servicio buscará tener menores costos en operación y mantenimiento, capacidad adecuada en la estación incluyendo las áreas peatonales y una supervisión de las áreas de recolección de tarifas, para evitar vandalismos. A la comunidad en general le importa un sistema eficiente, económico, de calidad y no contaminante.

2.3.2 Elementos de una estación: Las estaciones deben ser diseñadas de acuerdo con los parámetros definidos en los planes de ordenamiento territorial para:

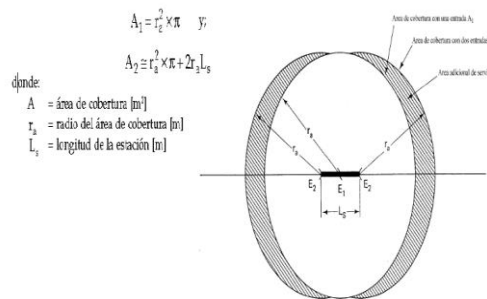
- Accesos, pasillos y escaleras.
- Vestíbulo.
- Andenes.

2.3.2.1 Accesos: El usuario percibe que ha llegado a la estación al momento de acceder a ella. De acuerdo al número de usuarios que utilicen el sistema monorraíl propuesto, se darán las áreas de coberturas y los accesos de estas, existen accesos

⁸ MOLINERO MOLINERO, A., & SÁNCHEZ ARELLANO, L. I. Transporte público: planeación, diseño, operación y administración (No. Sirsi) i9688353531) 1997

sencillos y dobles los cuales se asignan dependiendo del mayor número de usuarios posibles que puedan captar las estaciones en sus respectivas zonas, es decir, las áreas de coberturas.

Figura 10. Área de cobertura para las estaciones.



Fuente: MOLINERO MOLINERO, Ángel, & SÁNCHEZ ARELLANO Luis Ignacio Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. pág. 140.

En la figura 4 se encuentran las fórmulas para el cálculo teórico del área de la cobertura (m²) para las estaciones con accesos sencillos o dobles, se tomó un radio de cobertura de 250 m y 500 m, respectivamente para el sistema monorraíl propuesto. Las estaciones de Hospital Universitario Gonzales Valencia, Club Unión, CC Cacique y Provenza tendrán accesos dobles debido a que la demanda de pasajeros en estos puntos es mayor, por lo tanto, se requiere de una mayor cobertura.

Por otro lado, las estaciones laterales Viejo Chiflas, Jumbo Cabecera, Parque San Pio, Clínica Bucaramanga, Colegio La merced y Carrera 29 con calle 93, tendrán acceso sencillo ya que la demanda de usuarios en estos sectores es menor. En la tabla 4 se especifica el tipo de acceso y el radio de cobertura propuesto para cada estación del sistema.

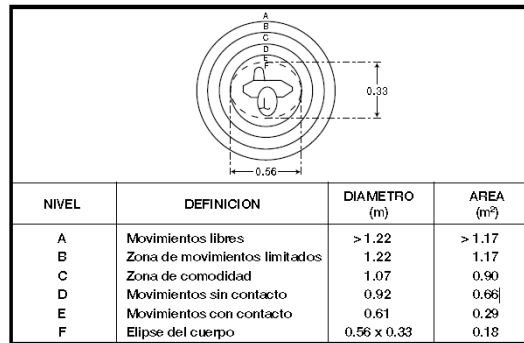
Tabla 3. Estaciones del sistema monorriel con su tipo de acceso y radio de cobertura.

# ESTACIÓN	ESTACIÓN	TIPO DE ACCESO	RADIO DE COBERTURA
1	Hospital Universitario Gonzales Valencia	Doble	500 m
2	Viejo Chiflas -Carrera 33 con calle 34	Sencillo	250 m
3	Jumbo Cabecera - Carrera 33 con calle 41	Sencillo	250 m
4	Parque San Pio	Sencillo	250 m
5	Club Unión - Carrera 33 con calle 49	Sencillo	250 m
6	Clínica Bucaramanga	Sencillo	250 m
7	Colegio La Merced - Con calle 56	Doble	500 m
8	Centro Comercial Cacique	Doble	500 m
9	Cra 29 con calle 93	Sencillo	250 m
10	Provenza	Doble	500 m

2.3.2.2 Pasillos Los pasillos tienen como función comunicar andenes de la misma o distinta estación. Para realizar el dimensionamiento correcto de un pasillo, se debe tener en cuenta la circulación de los usuarios, principalmente en los casos de transferencia y accesos a las estaciones.

El cálculo de la capacidad de un pasillo parte de los movimientos de pasajeros máximos en cada estación a la hora de máxima demanda con una determinada velocidad. Es importante mencionar que, a mayor velocidad de marcha del usuario, menor será la densidad de usuarios que se presente en el pasillo.

Figura 11. Zonas de comodidad para un usuario.



Fuente: MOLINERO MOLINERO, Ángel, & SÁNCHEZ ARELLANO Luis Ignacio Transporte público: planeación, diseño, operación y administración., pág. 74.

Para tener una circulación apropiada de usuarios en los pasillos, la literatura recomienda que máximo 4 pasajeros por m² es decir 4 espacios para transitar, ya que después de esta densidad de usuarios la capacidad va decaer en el pasillo, se propone un ancho de pasillo de 2,8 metros teniendo en cuenta que el diámetro de comodidad de circulación para un peatón teniendo movimientos con contacto es de 0,61 m.

Figura 12. 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	1.0	62	3.7
E	81	0.5	40	2.4
F	Variable	< 0.5	< 40	< 2.4

Fuente: CAL Rafael y REYES SPÍNDOLA Mayor, & CÁRDENAS GRISALES James Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones., pág. 41.

En cuanto al volumen de pasajeros se propone un nivel de servicio D con un aproximado de 62 peatones por minuto. Para calcular la capacidad del pasillo se deben tener en cuenta los factores antes mencionados. A continuación, se muestra el cálculo:

Tabla 4. Capacidad pasillo propuesto para el sistema monorriel.

Ancho del pasillo	2,8 m
Distancia comodidad de un usuario	0,61 m
Volumen usuarios por minuto	62 personas
Capacidad pasillo	4 espacios de 0,61 m * 62 peatones
Capacidad pasillo	248 personas

2.3.2.3 Escaleras: Las escaleras son las responsables de comunicar distintos espacios creando una circulación vertical. Las diferencias de nivel en las estaciones se establecen mediante escaleras estáticas, mecánicas o elevadores.

En el sistema de transporte tipo monorriel se utilizarán escaleras estáticas y elevadores. Se recomienda que las escaleras no sean excesivamente largas no sobrepasarse de los 20 escalones, un valor aceptado es de 12 escalones, de llegar a excederse se sugiere dividirlos en tramos donde se ubiquen descansos no menores de 0.9 m. Se deben evitar tramos cortos de dos o tres escalones pues no son prácticos y pueden ser sustituidos por rampas. Los anchos de las escaleras no deben ser menores de 1.60 metros, en caso de tener un ancho 4.50 metros o más, deben contar con un pasamanos central que permita ser un apoyo para el usuario y separar las direcciones de circulación.⁹

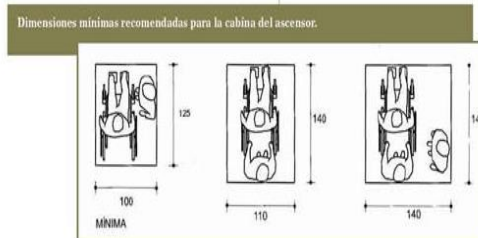
Los elevadores se implementan como complemento a las escaleras y como apoyo para las personas con discapacidad física. Algunas ventajas de los elevadores son mayor comodidad para el usuario, seguridad y fiabilidad, menor tiempo de recorrido, adaptable para cualquier tipo de persona.

A continuación, se muestra la figura 6 con las dimensiones mínimas recomendadas para la cabina de un ascensor que permite alojar una persona en silla de ruedas con un acompañante o con dos acompañantes. Para el sistema de movilidad

⁹ Ibíd.

presentado se sugiere un ascensor que supere las medidas mínimas y además tenga capacidad para 8 personas.

Figura 13. Dimensiones mínimas recomendadas para la cabina del ascensor.



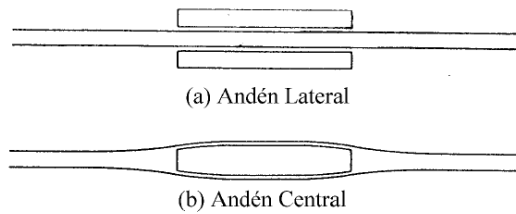
Fuente: MINUSVAL 2000 Características ascensor accesible [en línea] disponible en: http://www.minusval2000.com/otros/legislacion/consultas/caracteristicas_ascensor_accesible.html

2.3.2.4 Vestíbulo El vestíbulo depende del tipo de estación que se va implementar, existen dos tipos de vestíbulos superficiales y subterráneos, para el caso de estudio será un vestíbulo de espera superficial para estación elevada.

El nivel de vestíbulo tiene la función principal de intercambiar el sentido dentro de la estación. Además de cumplir con los espacios requeridos por las estaciones, cumple una función muy importante como espacio público. Es importante mencionar, que se puede considerar la posibilidad de utilizar el área del vestíbulo como el área de paso entre las calles, así mismo para incorporar locales comerciales y hacer conexiones con tiendas y edificios importantes. Sin embargo, una de las funciones más importante es la de alojar los sistemas de venta y recolección de boletos, es decir las taquillas.

2.3.2.5 Andenes El andén es el área utilizable donde el usuario espera para abordar un tren. Existen varios tipos de andenes centrales y laterales.

Figura 14. Tipos de andenes.



Fuente: Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. Molinero Molinero, Angel, & Luis Ignacio Sánchez Arellano, pág. 153.

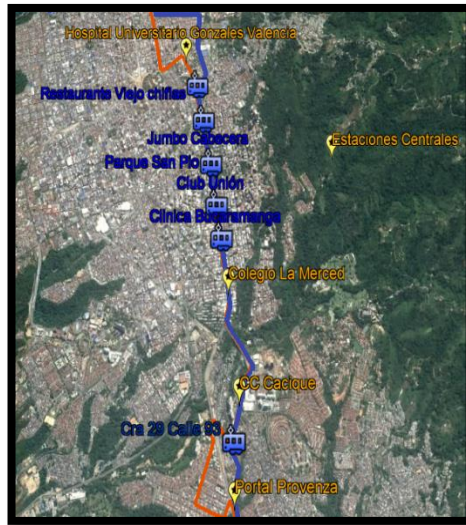
Es recomendable que los andenes laterales cuenten con un mínimo de 3m, mientras que el ancho para andenes centrales con escaleras localizadas al final del mismo es de 6m. En el caso de que las escaleras se ubiquen dentro del andén, el ancho recomendable debe situarse en los 7m.

2.4 TIPOS DE ESTACIONES

Para el sistema monorriel propuesto se sugieren dos tipos de estaciones, centrales y laterales.

2.4.1 Estaciones Centrales: Las estaciones centrales se instalarán en los tramos donde no exista un gran impacto visual que afecte las construcciones vecinas. Para el sistema propuesto las estaciones centrales serán Hospital Universitario Gonzales Valencia, Colegio La merced, Centro comercial El cacique y Provenza.

Figura 15. Estaciones centrales en la ruta monorriel.



Fuente: Tomada de google earth.

2.4.2 Estaciones Laterales: A diferencia de las estaciones centrales, estas estarán ubicadas en los tramos donde el espacio requerido para la construcción no sea apto y generen contaminación visual. Para el sistema propuesto las estaciones laterales serán las ubicadas en el tramo desde Viejo Chiflas hasta la Clínica Bucaramanga y la estación ubicada en la Carrera 29 con calle 93.

Figura 16. Estaciones laterales en la ruta monorriel.



Fuente: Tomada de google earth.

3. ANÁLISIS DE LA POSIBLE DEMANDA DE VIAJES

Debido a que el presente proyecto es a nivel de pre factibilidad se realizó una investigación preliminar con el fin de conocer la posible flota de unidades de monorriel requeridas por el sistema. Para ejecutar este análisis se estudiaron varios atributos del sistema tales como la carga máxima de pasajeros horaria, longitud de la vía, velocidad operacional, tiempo de circulación en la vía, ciclo, intervalo de paso o frecuencia, tiempo en paradas, recorridos diarios y flota.

3.1 CARGA MÁXIMA DE PASAJEROS HORARIA

Se refiere al número máximo de pasajeros en el sistema de transporte, usualmente los perfiles de carga permiten visualizar de manera más clara los tramos donde se encuentra la mayor cantidad de pasajeros.

La carga máxima de pasajeros horaria, se calculó a partir de dos métodos.

- Estudio de ascenso y descenso de pasajeros a bordo de los vehículos de transporte público colectivo.
- Análisis de la matriz origen destino en la zona de influencia del proyecto.¹⁰

3.1.1 Estudio de ascenso y descenso de pasajeros. Inicialmente se realizó un estudio de ascenso y descenso de pasajeros en campo, sobre las rutas AB2, P8, P13 del sistema de transporte masivo Metrolínea, que circulan por la carrera 33. Estas fueron elegidas debido a que sus trayectos transitan sobre la zona principal de estudio, con orígenes destinos similares a la línea de viaje propuesta para el

¹⁰ POSADA HENAO, J. J., & GONZÁLEZ CALDERÓN, C. A. Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales. 2010

sistema monorriel. Este estudio se realizó con el fin de conocer la carga máxima de pasajeros que se presenta durante el día, para determinar la posible flota de unidades requerida por el sistema monorriel.

La recolección de datos se realizó en las horas pico del medio día, el día miércoles teniendo en cuenta que son los días donde más afluencia de pasajeros se presenta.

- Hora pico: Periodo de tiempo en el que regularmente se produce congestión y mayor demanda de pasajeros.

Tabla de toma de datos de sube y baja de pasajeros (VER ANEXO 1).

La carga máxima depende del tipo de vehículo.

- Carga máx. alimentadores:

$$Carga_{m\acute{a}x} = \frac{\text{Total ascenso de pasajeros}}{\text{Duración total del recorrido}} \left[\frac{\text{pax}}{\text{min}} \right] \quad (1)$$

- Carga máx. padrón:

$$Carga_{m\acute{a}x} = \frac{\text{Pasajeros máximos a bordo}}{\text{Duración del tramo mas cargado}} \left[\frac{\text{pax}}{\text{min}} \right] \quad (2)$$

3.1.1.1 Ruta AB2 (Porvenir-Cra 33-UIS) El tramo objeto de estudio inicio en la parada del Hospital Universitario Gonzales Valencia hasta la estación Provenza. Se analiza solo este tramo debido a que esta ruta es la propuesta para el sistema monorriel.

La ruta AB2, presento una carga máxima de 62 pasajeros a bordo y una demanda total de 90 pasajeros que ascendieron en este tramo.

Perfil de carga ruta AB2 – Sentido Norte Sur – (VER ANEXO 2)

La carga máxima de la ruta AB2 fue de **3[pax/min]** y se calculó aplicando la ecuación (1).

El tiempo de duración del recorrido del tramo con más pasajeros a bordo fue 35.71 minutos.

3.1.1.2 Ruta P8 (Portal del Valle – Cra 33 – Parque Estación UIS) El tramo objeto de estudio inicio en la parada del CC Megamall hasta la estación Provenza, se analiza solo este tramo debido a que esta ruta es la propuesta para el sistema monorriel.

La ruta P8, presento una carga máxima de 98 pasajeros a bordo y una demanda total de 102 pasajeros que ascendieron en este tramo.

Perfil de carga ruta P8 – Sentido Norte Sur – (VER ANEXO 3)

La carga máxima de la ruta P8 fue de **10 [pax/min]** y se calculó aplicando la ecuación (2).

El tiempo de duración del recorrido del tramo con más pasajeros a bordo fue 9.45 minutos.

3.1.1.3 Ruta P13 (Portal del Valle – Cra 33 – Parque Estación UIS) El tramo objeto de estudio inicio en la parada del CC Megamall hasta la estación Provenza, se analiza solo este tramo debido a que esta ruta es la propuesta para el sistema monorriel.

La ruta P13, presento una carga máxima de 83 pasajeros a bordo y una demanda total de 88 pasajeros que ascendieron en este tramo.

Perfil de carga ruta P13 – Sentido Norte Sur – (VER ANEXO 4)

La carga máxima de la ruta P13 fue de **8 [pax/min]** y se calculó aplicando la ecuación (2).

El tiempo de duración del recorrido del tramo con más pasajeros a bordo fue 10.15 minutos.

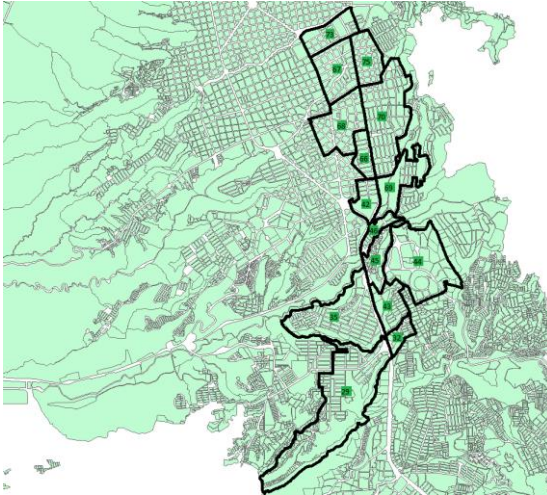
En la Tabla 6, se muestran la carga máxima total de pasajeros/ hora, resultado de la suma de la carga máx. de pasajeros de cada una de las rutas analizadas.

Tabla 5. Carga máx. Total de pasajeros.

Ruta	Carga máx. [pax/min]	Carga máx. [pax/hora]
AB2	3	180
P8	10	600
P13	8	480
	Total	1260

3.1.2 Matriz origen destino Igualmente, se realizó un análisis de la matriz de origen destino en la zona de influencia del monorriel, la cual fue proporcionada por el grupo de investigación geomática–gestión y optimización de sistemas de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 17. Zonificación de la matriz origen destino.



Fuente: Grupo de geomática- gestión y optimización de sistemas – UIS.

Figura 18. Matriz origen destino.

		Destino													
Origen	29	32	35	42	43	44	45	46	66	67	68	69	70	73	75
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	33	0	0	0	24	0	21	36	94	0	0	0	0	23
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	21	0	0	0	103	0	75	0	465	0	0	0	0	62
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	53
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	8	38	0
67	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	59	0	17	0	16	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0

Fuente: Grupo de geomática- gestión y optimización de sistemas – UIS.

La carga máxima de pasajeros se calculó partiendo de la información de la matriz origen-destino (ver figura 12) la cual data del año 2005, por tal razón fue proyectada al año actual aplicando el método factor de crecimiento de generación de viajes.

Para este análisis es necesario identificar el tramo más cargado de viajes, el cual se encontró comprendido desde la zona de Lagos del Cacique hacia la zona de Mejoras Públicas y sus alrededores con 465 viajes en la hora pico en el año 2005.

La estimación de los viajes futuros de la zona, fue determinada por medio del método de factor de crecimiento, el cual relaciona los viajes actuales con una tasa de crecimiento, como se muestra en la ecuación (5)

$$T_i = F_i * t_i \quad (5)$$

$T_i =$ Viajes futuros de la zona i

$t_i =$ Viajes actuales de la zona i

$F_i =$ Factor de crecimiento

El factor de crecimiento se define como la relación de población y parque automotor actual y futuro, como se observa en la ecuación (6)

$$F_i = \frac{P_i^n * M_i^n}{P_i^0 * M_i^0} \quad (6)$$

Donde P es la población y M es el número de motorizados, El súper índice 0 corresponde al año base y el súper índice n al año futuro. ¹¹

Los datos de la población del municipio fueron tomados de las proyecciones de población del DANE, y la motorización se tomó del histórico del Parque Automotor proporcionado por la Dirección de Transito de Bucaramanga.

Tabla 6. Proyección viajes año 2018.

	Factor Crecimiento	Viajes
2018	2,78	1292

¹¹ Apuntes de clase de transporte. (2017).

La aplicación de ambos métodos se realizó con el fin de conocer la carga máxima de pasajeros horaria, por el método de ascenso y descenso de pasajeros fue 1260 pax/hora y por el análisis de la matriz origen destino se estimó un total de 1292 pax/hora.

3.2 LONGITUD DEL RECORRIDO DEL SISTEMA MONORRIEL

La longitud se puede considerar como una noción de distancia en segmentos de línea o curvas. En la figura 2, se puede observar la ruta propuesta para el sistema, la longitud de la ruta es de 4,6 km, medida con el software Google Maps.

3.3 VELOCIDAD LIBRE O COMERCIAL

La velocidad comercial se define como la velocidad promedio de recorrido que emplean los vehículos para realizar una vuelta completa a la ruta, en la cual se incluyen todas las demoras y el tiempo de espera en los terminales. La velocidad libre propuesta para el monorriel es de 35km/hora, debido a que esta es la velocidad estándar para este tipo de sistemas ¹²

3.4 TIEMPO DE CIRCULACIÓN EN LA VÍA

El tiempo en la vía es el cociente entre la longitud de la ruta y la velocidad libre. Para el sistema, se toma una longitud de 9,2 km puesto que la longitud total hace referencia al recorrido ida y vuelta.

¹² GIRARDOTTI L., "Demanda de Transporte dirigida a redes" 2001

3.5 TIEMPO EN PARADAS

El tiempo en paradas es la suma del tiempo que demora el monorriel en cada una de sus paradas.

$$TP = B1 + B2 + C1 + C2 + TA - E \quad (3)$$

Donde,

TP= tiempo en la parada

B1= tiempo de desaceleración del vehículo

B2= tiempo de aceleración del vehículo

E= Tiempo virtual para recorrer la distancia equivalente al punto de parada, a la velocidad normal del tráfico.

C1= Tiempo de apertura de puertas.

C2= Tiempo de cerrado de puertas

$$TA_i = \max(E_i * te; D_i * td) \quad (4)$$

TA = Tiempo de atención efectivo en punto i

Ei= Número d pasajeros embarcando

Di= Número de pasajeros desembarcando

Te= Tiempo medio embarque de un pasajero

Td= Tiempo medio desembarque de un pasajero

3.6 FLOTA

La flota operacional es la flota necesaria para cubrir la operación del sistema, es la relación entre el ciclo total de la ruta y el intervalo de paso. Esta flota es la necesaria para atender la demanda aproximada de pasajeros en la hora pico.

La flota de reserva es del 10% por mantenimiento de los equipos, y la flota total efectiva es la suma de la flota operacional más la flota de reserva.

3.7 NÚMERO DE RECORRIDOS

El número de recorridos es la relación entre las horas de trabajo del sistema de transporte y el tiempo que dura una unidad de transporte en realizar un recorrido, es decir, el ciclo del monorriel en horas. El número de recorridos son unidades.

3.8 CAPACIDAD DEL VEHÍCULO

Es la capacidad de pasajeros que tiene el vehículo de acuerdo a su tipología, para el monorriel se propuso una capacidad de 240 pasajeros, para 2 vagones, cada uno con capacidad de 120 pasajeros.

3.9 RECORRIDOS POR DÍA – RPD

Los recorridos por día se calculan en Km, se multiplica la longitud recorrida por el número de recorridos realizados por el sistema de transporte.

3.10 CICLO

El ciclo es el tiempo que dura una unidad de transporte en completar el recorrido origen destino en minutos. Para este análisis, se toma la suma del tiempo en la vía más el tiempo en paradas del monorriel

3.11 INTERVALO DE PASO O FRECUENCIA

Se define como el lapso de tiempo de paso entre dos monorrieles consecutivos en minutos. Es el cociente entre la capacidad del vehículo en pasajeros y la carga máxima de pasajeros por minuto.

Los resultados de este análisis de posible demanda de viajes del monorriel se realizaron en el software de Excel, y se puede observar en el *Cálculo de flota para el sistema monorriel propuesto (ANEXO 5).*

4. CAPACIDAD VIAL DEL CORREDOR

4.1 CAPACIDAD VIAL SEGÚN HCM 2.000

Para analizar la capacidad vial en la vía, se realizó una toma de información de tráfico de congestión en un punto crítico, calle 51 sobre la carrera 33 frente al Club Unión, durante 3 días típicos de la semana lunes, miércoles y viernes en periodos de 15 minutos en las horas de máxima demanda (dos horas pico de la mañana, medio día y noche con sus respectivos horarios 6:00 am a 8:00 am, 12:00 a 2:00 pm y 6:00 pm a 8:00 pm), con el fin de identificar el máximo número de vehículos que circulan en ambos sentidos sur-norte y norte-sur en las tasas de flujo.

Tabla de toma de datos de aforo vehicular (VER ANEXO 6).

Según el manual de capacidad y nivel de servicio, en Colombia para analizar la capacidad vial se ha venido utilizando la metodología expuesta en el manual de capacidad de carreteras norteamericano (H. C. M). Según el manual colombiano, la capacidad de una vía en términos generales se define como el máximo número de vehículos que puede circular por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado en condiciones imperantes de la vía y de tránsito.¹³

Así mismo el HCM 2.000 define las siguientes condiciones:

4.1.1 Condiciones de la vía En ellas se incluyen las características geométricas de la carretera, tales como tipo de vía y su estado, número de carriles, bermas, etc.

¹³ HIGHWAY CAPACITY Manual 2000.

4.1.1.1 Características geométricas de la vía

Tabla 7. Características geométricas de la carrera 33

TIPO DE VIA	Dos calzadas con dos carriles por sentido con separador central.
ESTADO DE LA VIA	La vía analizada en el proyecto se encuentra en general en buen estado, con algunos baches en algunos tramos, pero no lo suficientemente significativos para interrumpir el flujo vehicular normal.
CARACTERISTICAS GENERALES	<ul style="list-style-type: none">➤ Existencia de tramos con prohibición de adelantamientos.➤ Poca presencia de vehículos pesados.➤ Restricción al tránsito principal debido al giro prohibido de algunos vehículos.➤ Terreno plano
NUMERO DE CARRILES	4
ANCHO DE CALZADA	7 m
ANCHO DE LAS BERMAS LATERALES	1,60 m y 4,13 m

4.1.2 Condiciones del tránsito Se refiere a las características del tránsito que circula por la vía, como la composición, el volumen, la distribución vehicular y los movimientos direccionales que ejecutan los vehículos.

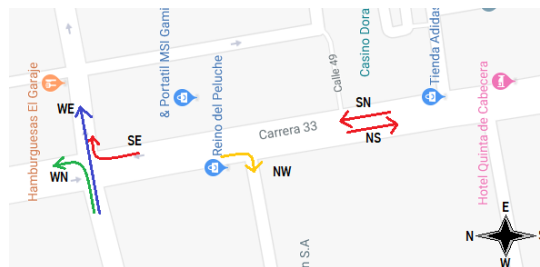
Previamente, se realizó un estudio de volúmenes de flujo tomados en campo, para el cálculo de la capacidad vial se debe trasladar el tránsito mixto a tránsito estandarizado, es decir equivalente a vehículos livianos.

Para los efectos del cálculo de vehículos equivalentes se tomaron los siguientes valores: *Vehículos (1.0)*, *Taxis (1.0)*, *Buses (2.0)*, *Camiones (2.5)*, *Motos (0.75)* y *Bicicletas (0.5)*.

Con los vehículos en forma de tránsito equivalente, se agruparon en periodos de 60 minutos para calcular el periodo donde mayor flujo de vehículos hubo, es decir el pico máximo equivalente horario.

Intersección carrera 33

Figura 19. Movimientos de aforo en la intersección carrera 33.



A continuación, se muestra una tabla con los vehículos equivalentes de este estudio de volúmenes. *VER ANEXO 7 – Tabla de resultados de vehículos equivalentes en la intersección.*

El volumen de vehículos total que transita por la vía principal se define como la diferencia entre el flujo vehicular de entrada a la vía y el flujo vehicular de salida de la vía. Este análisis se realizó en sentido norte sur y sur norte por cada una de las calzadas que tiene la carrera 33.

En el sentido norte sur el total de vehículos equivalentes fue de **1059 VE/hora por calzada.**

En el sentido sur norte el total de vehículos equivalentes fue de **1408 VE/hora por calzada.**

VER ANEXO 8 – Tabla de resultados de vehículos en sentido norte sur.

VER ANEXO 9 – Tabla de resultados de vehículos en sentido sur norte.

De acuerdo al manual de capacidad y niveles de servicio, la capacidad vial para una vía de dos calzadas con separador central con un ancho de calzada como el de la carrera 33 es 1300 VE/hora por carril.

4.2 NIVEL DE SERVICIO SEGÚN HCM2000 PARA VÍAS URBANAS

El nivel de servicio de la vía fue analizado de acuerdo al HCM 2000 para vías urbanas, acorde al Plan Maestro de Movilidad del área metropolitana de Bucaramanga la Carrera 33 clasifica como una vía Municipal Metropolitana secundaria con perfil vial tipo 8.

En el HCM 2000, definen cuatro clases de calles urbanas, las clases son designadas por número (es decir, I, II, III, y IV) y reflejan combinaciones únicas de la función de la calle y diseño. El componente funcional se separa en dos categorías: arterial principal e arterial menor.

El componente de diseño se separa en cuatro categorías: de alta velocidad, suburbanas, intermedio y urbanas. Las características asociadas con cada categoría se describen en la tabla 9.

Tabla 8. Clasificación de la función de la calle y diseño

EXHIBIT 10-4. FUNCTIONAL AND DESIGN CATEGORIES

Criterion	Functional Category			
	Principal Arterial	Minor Arterial		
Mobility function	Very important	Important		
Access function	Very minor	Substantial		
Points connected	Freeways, important activity centers, major traffic generators	Principal arterials		
Predominant trips served	Relatively long trips between major points and through-trips entering, leaving, and passing through the city	Trips of moderate length within relatively small geographical areas		
Criterion	Design Category			
	High-Speed	Suburban	Intermediate	Urban
Driveway/access density	Very low density	Low density	Moderate density	High density
Arterial type	Multilane divided; undivided or two-lane with shoulders	Multilane divided; undivided or two-lane with shoulders	Multilane divided or undivided; one-way, two-lane	Undivided one-way, two-way, two or more lanes
Parking	No	No	Some	Significant
Separate left-turn lanes	Yes	Yes	Usually	Some
Signals/km	0.3-1.2	0.6-3.0	2-6	4-8
Speed limit	75-90 km/h	65-75 km/h	50-65 km/h	40-55 km/h
Pedestrian activity	Very little	Little	Some	Usually
Roadside development	Low density	Low to medium density	Medium to moderate density	High density

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Chapter 10. Urban Streets Concepts.

De acuerdo a la tabla 10, la carrera 33 clasifica en categoría de diseño Urbana y en categoría funcional Arteria Menor, con estos datos y observando la tabla 10 se define como **URBANA IV**.

Tabla 9. Clasificación para calles urbanas basadas en funcionalidad y diseño.

EXHIBIT 10-3. URBAN STREET CLASS BASED ON FUNCTIONAL AND DESIGN CATEGORIES

Design Category	Functional Category	
	Principal Arterial	Minor Arterial
High-Speed	I	N/A
Suburban	II	II
Intermediate	II	III or IV
Urban	III or IV	IV

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Chapter 10. Urban Streets Concepts. Pág. 10-6

Existen unos criterios necesarios para calcular el nivel de servicio de una vía; la **velocidad a flujo libre**, esta hace referencia a la velocidad de un vehículo que se desplaza en condiciones de bajo volumen cuando no existe tráfico vehicular. En la tabla 11, están los valores estándar de estas velocidades teniendo como factor base la clase urbana de vía, la velocidad a flujo libre es de **45 km/h**.

Tabla 10. Clasificación de calles urbanas por velocidad a flujo libre.

EXHIBIT 10-5. FREE-FLOW SPEED BY URBAN STREET CLASS	
Urban Street Class	Default (km/h)
I	80
II	65
III	55
IV	45

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Chapter 10. Urban Streets Concepts. Pág. 10-8.

Otro criterio a evaluar es la **velocidad media de desplazamiento**, la cual fue calculada en campo, esta velocidad se calcula como la longitud del segmento dividido por el tiempo de viaje promedio. El tiempo de viaje es el tiempo empleado en recorrer el segmento de calle, con inclusión de cualquier retraso en tiempo de parada.

El tramo analizado inicia en la calle 34 - Esquina del Viejo Chiflas hasta la Calle 63 sobre la Carrera 33 con una longitud total de 2.03 Km y un tiempo de 26'19.34" (0.4387 horas) incluido tiempo de paradas y congestión, el tramo se analizó durante hora pico de la noche 6:00 pm a 8:00 pm en sentido Norte-Sur. Para el sentido Sur-Norte se estimó un tiempo de viaje de 8'12.48" (0.1368 horas).

$$Velocidad\ media\ de\ desplaz = \frac{Distancia\ (km)}{Tiempo\ (seg)} \quad (5)$$

Se aplicó la ecuación (5) para calcular la velocidad media de desplazamiento para cada sentido:

Sentido NORTE-SUR.

$$Velocidad\ media\ de\ desplaz = 4.63 \frac{km}{hora}$$

Sentido SUR-NORTE.

$$\text{Velocidad media de despla} = 14.84 \frac{\text{km}}{\text{hora}}$$

En la tabla 12, se encuentran clasificados los niveles de servicio de acuerdo al tipo de calle urbana, la velocidad de flujo libre y la velocidad media de desplazamiento, de acuerdo a los datos calculados **el nivel de servicio de la vía en sentido norte-sur es F y en sentido sur-norte es E.**

El nivel F, corresponde a una circulación muy forzada a velocidades bajas y con colas frecuentes que obligan a detenciones que pueden ser prolongadas. El extremo de este nivel F es la absoluta congestión de la vía, lo que normalmente se alcanza durante las horas punta en muchas vías céntricas de las grandes ciudades. ¹⁴

El nivel E supone que la intensidad de tráfico es ya próxima a la capacidad de la vía, y las velocidades no pueden rebasar normalmente los 50 Km/h. Las detenciones son frecuentes, siendo inestables o forzadas las condiciones de circulación.

Tabla 11. Niveles de servicio para calles urbanas.

EXHIBIT 15-2. URBAN STREET LOS BY CLASS

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

Fuente: Highway Capacity Manual 2000, Chapter 15. Urban Streets Methodology.

¹⁴ SJNAVARRO *Ingeniería de tránsito* [archivo PDF]. Recuperado de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>

5. COSTOS APROXIMADOS DEL SISTEMA MONORRIEL

Las diferentes variables que influyen en el costo global aproximado del kilómetro lineal del sistema monorriel son longitud del sistema, topografía, ubicación, utilidades, terreno, nivel de satisfacción de los usuarios, número de estaciones, estructuras especiales y condiciones geotécnicas.

Tabla 12. Factores de costos

Factores	Definición
Longitud del sistema	En muchos casos, los costos se reducen de acuerdo a la longitud del sistema entre más largo sea un sistema más económico tiende a ser.
Topografía	Se refiere al tipo de terreno montañoso, llano, escarpado, sinuoso.
Ubicación	Impedimentos para efectuar el equipo de construcción, por ejemplo el tráfico.
Utilidades	Reubicación de cañerías principales, líneas de conducción eléctrica, líneas telefónicas u otros servicios.
Terreno	Cantidad de tierra a comprar, rentar o expropiar.
Nivel de satisfacción de los usuarios	Tamaño y cantidad de vehículos que se requieren para el transporte y tiempo de espera en las estaciones.
Estaciones	Número de estaciones cada una añade un costo extra al costo extra al sistema del monorriel.
Estructuras especiales	Si se requiere la reconstrucción de alguna estructura extra como túneles o puentes.
Condiciones geotécnicas	Condiciones del suelo

Fuente: The monorail society, 2008.

A nivel de pre factibilidad el sistema monorraiel propuesto, por ser un proyecto con una gran cantidad de variables técnicas, no se puede definir un costo por kilómetro lineal. Teniendo en cuenta estas variables evaluadas definidas anteriormente, se requiere de un grupo interdisciplinario que valore el costo del proyecto por kilómetro y total en la siguiente fase la de factibilidad, teniendo en cuenta pre-diseños que contemplen la infraestructura y la flota. La siguiente etapa es la evaluación socio económica del proyecto que contemple todo tipo de evaluación (técnica, económica, financiera, ambiental y legal) para que en la última fase definitiva se pueda valorar el costo total del proyecto. Este tipo de proyectos requiere de evaluaciones Ex ante, durante y Ex post que indiquen que la relación beneficio costo deba ser superior a 1.0, siendo que su valor entre mayor sea, porque los beneficios son mucho mayores a los costos, en las diferentes etapas del proyecto mayor aceptabilidad tendrá entre la comunidad.

A continuación, se mostrarán algunos de los monorrieles del mundo y sus costos por km lineal en dólares, encontrados en la literatura:

Tabla 13. Monorrieles del mundo y sus costos.

Tipo de sistema	Costo (millones US/ Km)	Fuente de información	Status del sistema
Aerorail	15.53	Aerorail Website	Propuesta
Bombardier MVI	55.00	Las Vegas Monorail	Operando
Hitachi	15.00	Tokio- Haneda	Operando
Hitachi	62.00	Kitakyushu Monorail	Operando
Hitachi	27.00	Okinawa Monorail	Operando
Intamin	4.08	Carr West, England	Operando
Monorail Malaysia	36.00	Kuala Lumpur Monorail	Operando
Hitachi **	77.00	Seattle Monorail	Construcción
Bombardier ***	103.00	Las vegas Monorail (ampliación)	Reconstrucción

Fuente: * The monorail society, 2008. ** Bourguignon, 2002. *** Mihailovich, 2004.

Para tener un aproximado de los costos del monorriel propuesto, se realizó una comparación con los monorrieles existentes en el mundo presentados en la Tabla 14. Es importante aclarar que el costo total del monorriel depende muchos factores, por eso sólo se realiza una estimación.

Tabla 14. Costo aproximado del monorriel

Tipo de sistema	Costo total aproximado del monorriel
Aerorail	\$214.314.000.000,00
Bombardier MVI	\$759.000.000.000,00
Hitachi	\$207.000.000.000,00
Hitachi	\$855.600.000.000,00
Hitachi	\$372.600.000.000,00
Intamin	\$56.304.000.000,00
Monorail Malaysia	\$496.800.000.000,00
Hitachi **	\$1.062.600.000.000,00
Bombardier ***	\$1.421.400.000.000,00

Fuente: Elaboración propia basada en *The monorail society, 2008 * Bourgugnon, 2002 *** Mihailovich, 2004.

6. CONCLUSIONES

Analizando la capacidad vial y los niveles de servicio del corredor de alineamiento para el monorriel se infiere que actualmente la carrera 33 presenta un problema de saturación vial y bajo desempeño de movilidad con repetidas detenciones de flujo forzado de los autos, principalmente en las horas pico debido a que la capacidad estándar para este tipo de vías está por debajo de la capacidad estimada en campo y los niveles de servicio son tipo E y F, los cuales son los más críticos del sistema.

De acuerdo con la actual demanda de pasajeros y viajes en esta zona, la oferta estimada por el sistema monorriel propuesto es de 3 flotas de monorriel cada uno con capacidad de 240 pax.

El sistema monorriel propuesto no solo busca mejorar la movilidad de los usuarios sino una solución efectiva a la situación vehicular que se presenta diariamente en la ciudad, para generar la transformación de transitabilidad, paisajística, arquitectónica, económica, comercial y residencial de los habitantes de Bucaramanga y su área metropolitana, en pro del embellecimiento de la ciudad.

A partir de los estudios realizados se pudo concluir que la implementación del sistema monorriel es viable, se podrá notar una leve mejoría en la calidad del servicio prestado a los usuarios, de manera eficiente gracias a que no existen demoras por tráfico, accidentes o semaforización, al ser un sistema de transporte elevado, al ser eléctrico aporta al cuidado ambiental y contaminación.

Para el mejoramiento del tráfico sobre el corredor, es recomendable aplicar otras alternativas no solo de sistemas de transporte si no también normas de tránsito, conciencia ciudadana para usar más el transporte público y dejar en casa el vehículo

privado, mediante su desestimulo, con lo cual las medidas de pico y placa pasan a un segundo plano

En cuanto a los costos los estudios definitivos para el desarrollo del proyecto deben contemplar el análisis de la relación beneficio costo del proyecto teniendo como base los costos por kilómetro de recorrido de este sistema, los costos que hasta la presente se han invertido en Metrolínea y los beneficios que se obtendrían en aspectos como ahorros de tiempos de viaje de los usuarios, el ahorro de accidentes, la contaminación y el ahorro de combustibles entre otros beneficios directos del proyecto, como también los beneficios indirectos para usuarios y no usuarios de este nuevo sistema.

7. RECOMENDACIONES

Se requiere efectuar una profundización integra de todos y cada uno de las temáticas relacionadas con el proyecto, debido a que es un estudio de prefactibilidad. A continuación, se expondrán algunas recomendaciones en pro de lograr una buena implementación del sistema propuesto:

- Analizar la integración del sistema de transporte monorriel con otros sistemas de transporte colectivo urbano, con el fin de brindar una mejor experiencia de viaje al usuario hasta llegar a su destino.
- Investigar la infraestructura requerida para este tipo de sistemas de transporte público; deberá estar diseñada bajo los lineamientos y normativas de sostenibilidad, con el fin de reducir al máximo el impacto sonoro, visual y ambiental que puedan generar estos sistemas durante su puesta en operación.
- Se debe considerar para la construcción de la estructura si las dimensiones de la vía son aptas para soportar todo el material rodante del sistema. En caso de que el separador central no tenga el ancho suficiente para los pilares de la estructura se sugiere tener en cuenta el diseño a dos pilares tipo pórtico.
- Debido a que la problemática de congestión que presenta la vía no es causada únicamente por los sistemas de transporte públicos, se recomienda aplicar las normas de tránsito por parte de los organismos de control competentes para mejorar la movilidad del corredor vial.
- Realizar un análisis profundo en cuanto al costo global del sistema con el objetivo de conocer la viabilidad económica del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

BECKMANN, Martin; McGUIRE, C. B. and WINSTEN, C. Studies in the Economics of Transportation.

BERTSEKAS, Dimitri P. Network Optimization: Continuous and Discrete Models.

BOURGUIGNON M. STEEPLE-JACK CONSULTING - ETC Seattle Popular Monorail Plan. 2002

Estudios de evaluación socioeconómico de la primera línea del metro para Bogotá. (IDU)

GIRARDOTTI L., "Demanda de Transporte dirigida a redes" 2001

HIGHWAY CAPACITY Manual 2000.

HURTADO, A., TORRES, A., & MIRANDA, L. El programa de sistemas integrados de transporte masivo en Colombia: ¿un ejemplo de recentralización de la gestión de las ciudades?. Territorios, 2(25), 95-120. 2011

LOZANO, Angélica; TORRES, Vicente y ANTÚN, Juan P. Tráfico vehicular en zonas urbanas.

MACKIE, P. J.; JARA-DIAZ, S.; FOWKES, A. S. The value of travel time savings in evaluation.

MÁRQUEZ, Luis G. Modelación de la demanda de transporte con TransCAD.

MÁRQUEZ, Luis G. y JAIMES, Henry. Comparación de métodos de asignación en una red prototipo para distintos volúmenes de tránsito.

MARTÍNEZ, L. E., & VALLE, J. N. Transporte Público: Una mirada desde la Ciencia Política. Publicado en la Plataforma de información para políticas públicas de la Universidad Nacional de Cuyo. 2011

McFADDEN, D. Economic choices.

MODUTRAM ¿Qué es un monorriel?. [en línea] disponible en:
<http://www.modutram.com/2016/12/02/que-es-un-monorriel/>

MOLINERO MOLINERO, A., & SÁNCHEZ ARELLANO, L. I. Transporte público: planeación, diseño, operación y administración (No. Sirsi) i9688353531) 1997

ORRO, A. Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios.

ORTÚZAR, Juan D. Modelos de demanda de transporte.

PARDO, C. F. Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina 2009

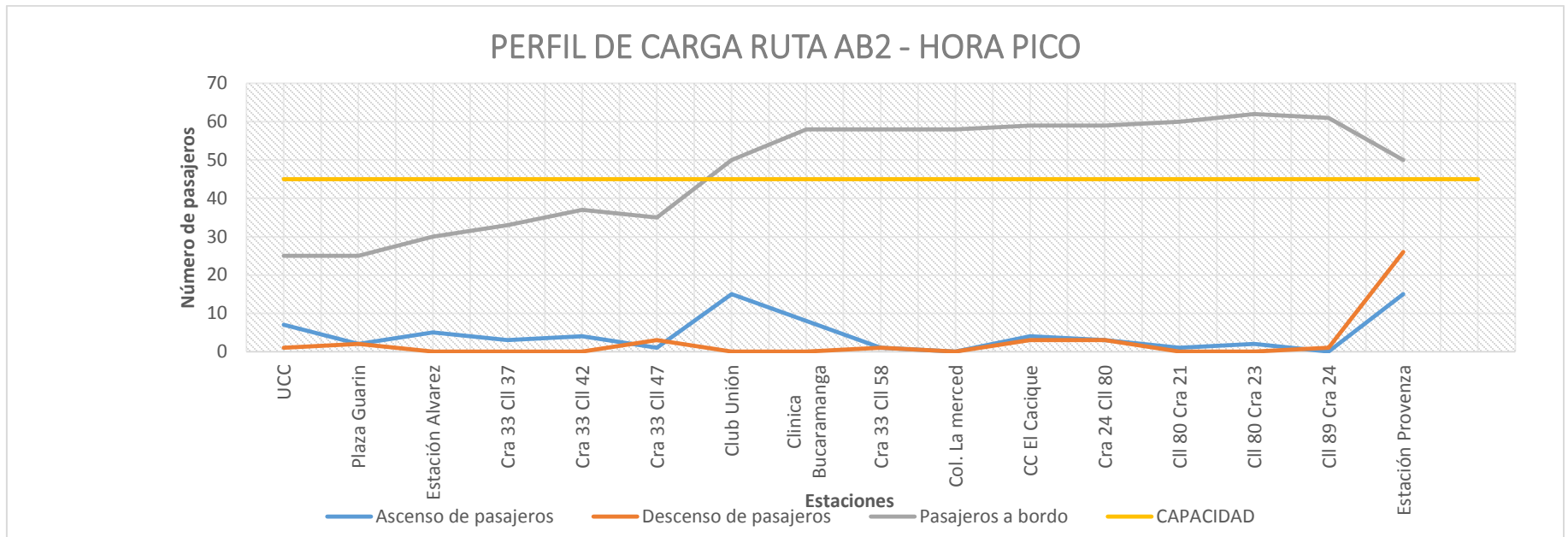
POSADA HENAO, J. J., & GONZÁLEZ CALDERÓN, C. A. Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales. 2010

SJNAVARRO Ingeniería de tránsito [archivo PDF]. Recuperado de
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>

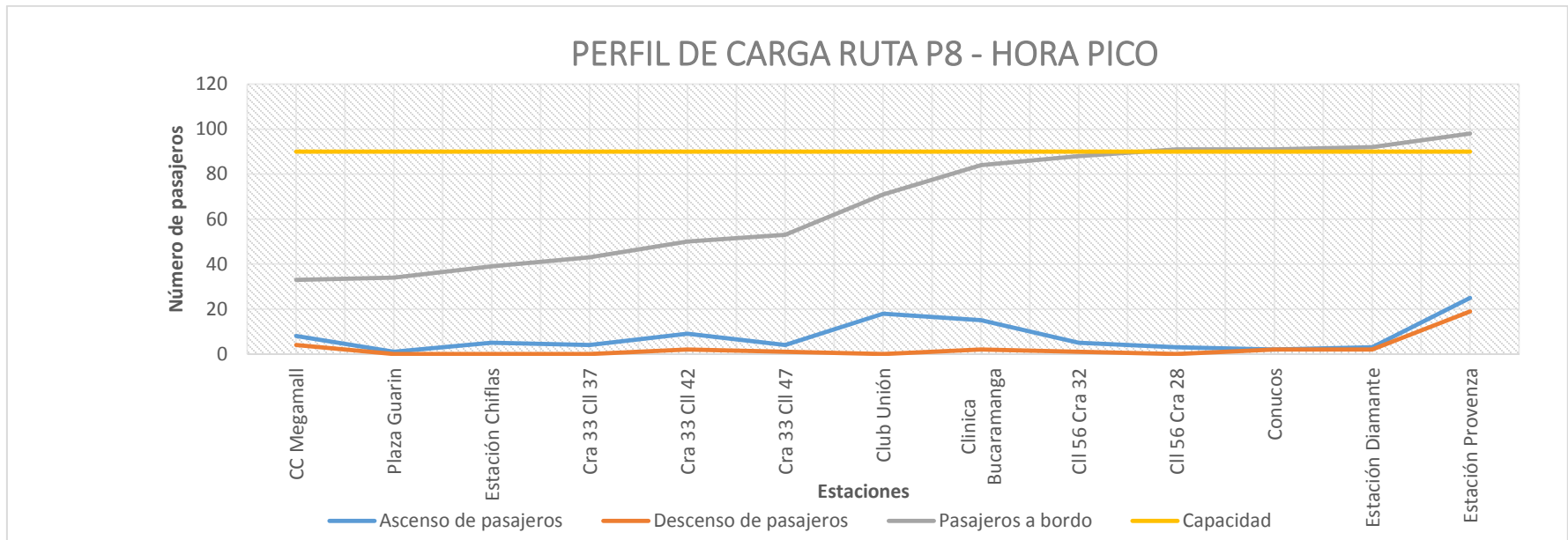
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (BUCARAMANGA). ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL. GEOMÁTICA, GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS, &

GÓMEZ, A. A. Plan maestro de movilidad Bucaramanga: 2010-2030. Universidad Industrial de Santander. 2010

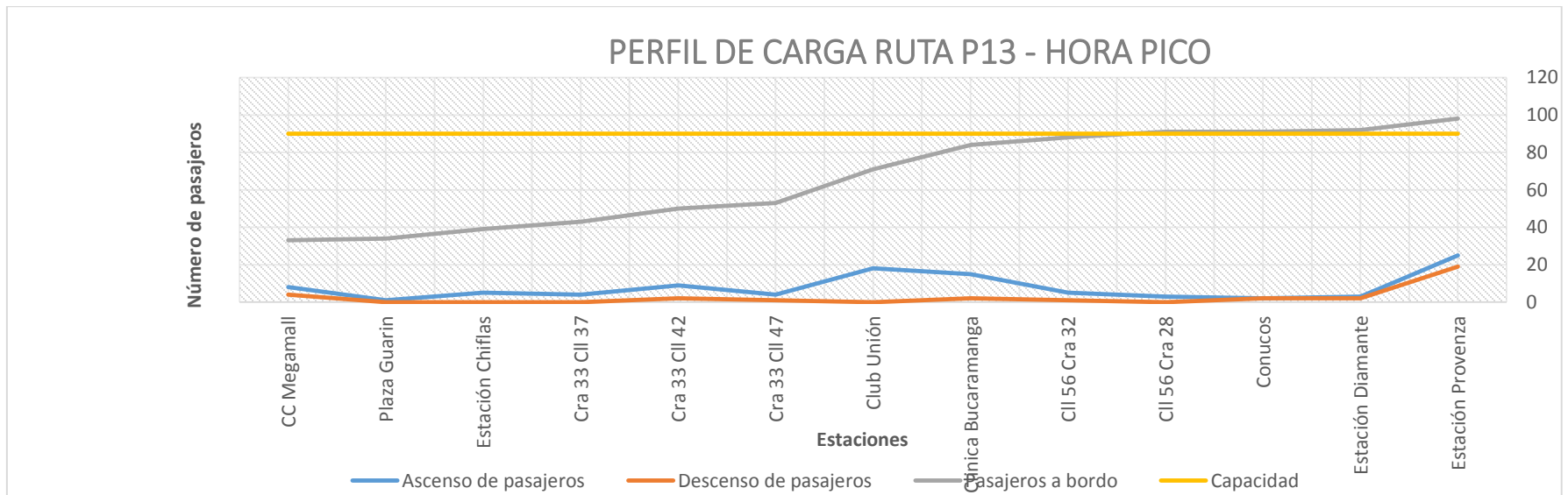
Anexo B. Perfil de carga ruta AB2



Anexo C. Perfil de carga ruta P8



Anexo D. Perfil de carga ruta P13



Anexo E. Cálculo de flota para el sistema monorriel propuesto

RUTA	LONG. (Km)	VELOCIDAD LIBRE (Km/hora)	T. EN VIA (Min)	T. EN PARADAS (Min)	CICLO. (Min)	CARGA MAXIMA (Pax/hora)	CARGA MAXIMA (Pax/min)	INT. (Min)	INT. REAL (Min)	FLOTA (unid)	RPD (Km)	CAP. (Pax)	N° REC. (Unidad)
	4,60	35	15,77	11,20	26,97	1.260	21	11,4	11	2	175	240	38
RESERVA										1			
TOTAL FLOTA										3			

Anexo G Tabla de resultados de vehículos equivalentes en la intersección.

MOVIMIENTO	SENTIDO	HORA PICO	MOTOS	PART	TAXIS	BUSETAS	CAMION PEQ	TOTAL EQUI
1	WE	6:45 a 7:45	126	76	56	0	13	271
2	WN	7:00 a 8:00	101	92	119	0	18	330
3	WS	6:30 a 7:30	161	169	195	0	3	528
4	SE	7:00 a 8:00	215	108	134	0	3	460
5	NW	7:00 a 8:00	53	45	28	0	3	128
6	NS	7:00 a 8:00	365	303	478	308	5	1459
7	SN	7:00 a 8:00	365	355	518	290	10	1538

Anexo H. Tabla de resultados de vehículos en sentido norte sur.

SENTIDO NORTE SUR								
	SENTIDO	HORA PICO	MOTOS	PART	TAXIS	BUSETAS	CAMION PEQ	TOTAL EQUI
Resta	WS	6:30 a 7:30	161	169	195	0	3	528
Aporta	NW	7:00 a 8:00	53	45	28	0	3	128
Aporta	NS	7:00 a 8:00	365	303	478	308	5	1459

Flujo total de entrada: $128 + 1459 = 1587$ VE/hora por calzada.

Flujo total de salida: 528 VE/hora por calzada.

Flujo total: $1587 - 528 = 1059$ **VE/hora por calzada.**

Anexo I. Tabla de resultados de vehículos en sentido sur norte.

SENTIDO SUR NORTE								
	SENTIDO	HORA PICO	MOTOS	PART	TAXIS	BUSETAS	CAMION PEQ	TOTAL EQUI
Aporta	WN	7:00 a 8:00	101	92	119	0	18	330
Resta	SE	7:00 a 8:00	215	108	134	0	3	460
Aporta	SN	7:00 a 8:00	365	355	518	290	10	1538

Flujo total de entrada: $330 + 1538 = 1868$ VE/hora por calzada.

Flujo total de salida: 460 VE/hora por calzada.

Flujo total: $1868 - 460 = 1408$ VE/hora por calzada.