



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE TRANSPORTE

TESIS

**“METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE
SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO”**

MBA. JUAN FRANCISCO ARIAS

MARZO 2015



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla de contenido

1.	Introducción	8
1.1	Alcance de la investigación	11
1.2	Objetivo general investigación	12
1.3	Objetivos específicos de la investigación	13
1.4	Metodología de la investigación	14
1.5	Marco teórico de la investigación	15
1.6	Flujo de trabajo de la investigación	27
1.7	Importancia del transporte público y su demanda	28
1.8	Sistemas de transporte público y sus características.....	32
1.8.1	Sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT)	32
1.8.2	Sistemas de riel ligero (LRT)	36
1.8.3	Sistemas de riel pesado (Metro)	37
2.	Demanda de transporte público	40
2.1	Demanda actual	41
2.1.1	Definición del área de estudio y zonificación	42
2.1.2	Estudio de rutas existentes	49
2.1.3	Estudio de demanda de pasajeros	50
2.1.4	Estudio de tráfico	60
2.1.5	Zonificación	61
2.1.6	Asignación de cargas a la red	64
2.1.7	Consideraciones del diseño muestral	65
2.2	Metodología para proyección de la demanda futura	68
3.	Alternativas y características de modos de transporte público	74
3.1	Características de los modos de transporte.....	74
3.1.1	Capacidad	74
3.1.2	Velocidad de operación	88
3.1.3	Flexibilidad	93
3.1.4	Tiempo de implantación	96
3.1.5	Costos de inversión	98
3.1.6	Costos de operación	102



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4.	Evaluación y selección del sistema: caso de estudio	105
4.1	Características urbanas	106
4.2	Viabilidad técnica	122
4.2.1	Demanda y oferta en el corredor	122
4.2.2	Gradientes máximas	133
4.3	Viabilidad económico – financiera	137
4.4	Evaluación preliminar de sistemas de transporte por cable.....	150
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	159



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Ilustración 1-1 Sistema trolebús - Quito	34
Ilustración 1-2 Tranvía Clermont-Ferrand, Francia.....	37
Ilustración 1-3 Metro subterráneo de Madrid	38
Ilustración 1-4 Metro de Medellín	38
Ilustración 2-1 Av. 10 de Agosto, Quito antes del sistema trolebús	43
Ilustración 2-2 Formulario levantamiento información de viaje - encuesta O/D.....	58
Ilustración 2-3 Zonificación del centro norte de Quito	63
Ilustración 2-4 Sector plaza Argentina, año 2003.....	71
Ilustración 2-5 Sector plaza Argentina 2014.....	72
Ilustración 3-1 Pasajeros por hora y por dirección de sistemas BRT.....	81
Ilustración 3-2 Sistema BRT Tiradentes, Sao Paulo – Brasil.....	83
Ilustración 3-3 Comparación de capacidad el PPHPD entre BRT y Metro.....	85
Ilustración 3-4 Bus súper articulado de Mercedes-Benz	86
Ilustración 3-5 Trolebús bi-articulado de Hess	86
Ilustración 3-6 Velocidades comerciales de sistemas BRT	89
Ilustración 3-7 Metrobus Estambul	90
Ilustración 3-8 Comparación de velocidades entre BRT y tren urbano.....	91
Ilustración 3-9 Circuitos y horarios, trolebús de Quito.....	95
Ilustración 3-10 Locomotora del metro de Panamá	100
Ilustración 4-1 Viajes por modo de transporte en el DMQ	111
Ilustración 4-2 Viajes en transporte público colectivo	112
Ilustración 4-3 Distribución de viajes en transporte público colectivo	112
Ilustración 4-4 Tasa de Motorización por zona del Distrito Metropolitano de Quito	116
Ilustración 4-5 Parque automotor en el DMQ.....	116
Ilustración 4-6 Av. Velasco Ibarra con dirección hacia el norte desde el intercambiador “El Trébol” en el período pico de la mañana.	118
Ilustración 4-7 Área de estudio con zonificación.....	120
Ilustración 4-8 Densidad poblacional para el año 2015	121
Ilustración 4-9 Pasajeros por hora/dirección (sur-norte) – Troncal trolebús.....	124
Ilustración 4-10 Pasajeros por hora/dirección (sur-norte) – Troncal trolebús.....	125
Ilustración 4-11 Tranvía Skoda.....	134
Ilustración 4-12 Perfil de elevación del corredor Labrador - Carapungo	135
Ilustración 4-13 Teleférico de La Paz, línea amarilla	151
Ilustración 4-14 Sector Roldós/Pisulí/Ofelia, norte de Quito	156
Ilustración 4-15 Perfil de elevación del sector en estudio para transporte por cable	157



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Primer servicio de transporte público de Nantes, Francia	9
Tabla 1-2 Categorización de Municipios según CNC	23
Tabla 1-3 Características de los corredores BRT en Quito.....	25
Tabla 1-4 Tabla de transporte público colectivo por día en el DMQ.....	26
Tabla 2-1 Matriz de evaluación multicriterio.....	47
Tabla 2-2 Variación del tamaño muestral con los pasajeros por hora	67
Tabla 2-3 Tamaño de la muestra en función del flujo horario	67
Tabla 2-4 Pasajeros transportados por el sistema trolebús	73
Tabla 3-1 Comparación de características de sistemas de riel.....	75
Tabla 3-2 Capacidad por hora y por dirección, escenario 1	78
Tabla 3-3 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy.....	78
Tabla 3-4 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy y expresos.....	79
Tabla 3-5 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy y expresos.....	82
Tabla 3-6 Tabla de intervalos de servicio “Metrobus Estambul”	90
Tabla 3-7 Tiempos de implantación para sistemas de transporte	97
Tabla 3-8 Cuadro comparativo de costos y longitudes de sistemas de riel pesado ..	101
Tabla 3-9 Tabla comparativa de características de los sistemas de transporte	102
Tabla 3-10 Tabla comparativa de sistemas de riel y sistemas BRT.....	104
Tabla 4-1 Distribución de la oferta de transporte público sin transporte escolar - 2014	108
Tabla 4-2 Viajes diarios en los diferentes modos de transporte en el DMQ 2011....	110
Tabla 4-3 % de demanda en hora pico (s-n) con respecto al total de la demanda en dos sentidos.....	126
Tabla 4-4 % de demanda en hora pico (s-n) con respecto a la demanda en un sentido.	126
Tabla 4-5 % de demanda en hora pico (n-s) con respecto al total de la demanda en dos sentidos.....	127
Tabla 4-6 % de demanda en hora pico (n-s) con respecto a la demanda en un sentido.	127
Tabla 4-7 Pasajeros transportados por ruta en el sector norte de Quito	128
Tabla 4-8 Rango de demanda estimada en hora pico por sentido (n-s) para corredor Labrador – Carapungo.	129
Tabla 4-9 Rango de demanda estimada en hora pico por sentido (s-n) para corredor Labrador – Carapungo.	129
Tabla 4-10 Proyecciones poblacionales para el DMQ	131
Tabla 4-11 Resultados de censos 2001 y 2010	132
Tabla 4-12 PIB per capita en el Ecuador	139
Tabla 4-13 Supuestos para evaluación financiera, alternativa 1.....	143
Tabla 4-14 Flujo alternativa 1	144



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-15 Flujo alternativa 1	144
Tabla 4-16 Supuestos para evaluación financiera alternativa 2	145
Tabla 4-17 Flujo alternativa 2	145
Tabla 4-18 Flujo alternativa 2	146
Tabla 4-19 Supuestos evaluación financiera alternativa 3	147
Tabla 4-20 Flujo alternativa 3	147
Tabla 4-21 Flujo alternativa 3	148
Tabla 4-22 Comparación de indicadores financieros de alternativas 1, 2 y 3	148
Tabla 5-1 Cuadro de resultados comparativos de las características de los sistemas de transporte	161



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

1. Introducción

Las ciudades tiene la característica de ser asentamientos permanentes de población que generalmente cuentan con un ordenamiento legal propio que permite a sus habitantes desarrollar actividades cotidianas de trabajo, estudio, comercio, ocio, entre otras. Al concentrar una gran cantidad de población en un territorio, sus habitantes requieren bienes y servicios para poder satisfacer sus necesidades, entre estos se encuentra el servicio de transporte.

Uno de los primeros servicios de transporte público registrado es el de la Ciudad de Nantes en Francia. El 10 de agosto de 1826 se inauguró la primera línea de transporte público con dos coches tirados por caballos y cada uno tenía capacidad para dieciséis personas.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

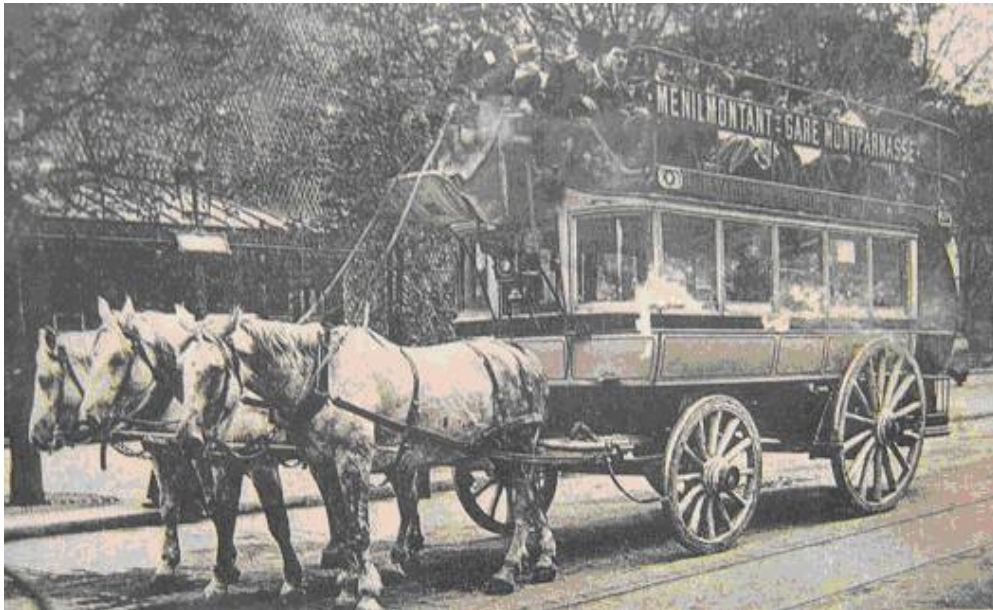


Tabla 1-1 Primer servicio de transporte público de Nantes, Francia

Posteriormente, el Sr. Etienne Bureau, reconociendo que las personas requerían movilizarse para realizar sus actividades cotidianas, obtiene el primer permiso de la Municipalidad de Nantes para operar la primera línea de ómnibus y el 30 de abril de 1828 extiende su servicio a Paris, inaugurando “L’ entreprise general des ómnibus”. Este emprendimiento resulta muy exitoso, debido a que el costo para el usuario es mucho más barato que el de las carretas, las mismas que eran equivalentes a los taxis de hoy en día¹.

Como podemos ver en este ejemplo del siglo diecinueve, la necesidad del transporte en general y en particular del transporte público de pasajeros es una demanda

¹ (herodote.net, 2011)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

derivada de las actividades realizadas por las personas. Este concepto básico de la ingeniería de transporte es muy importante para poder analizar las necesidades del servicio y las posibles alternativas para proveer una solución adecuada.

El número y la intensidad de las actividades en las ciudades modernas se han incrementado de forma exponencial, generando requerimientos intensivos sobre el servicio de transporte público. En muchos casos el transporte en buses convencionales operados por emprendedores privados no logra satisfacer la creciente demanda y los habitantes buscan alternativas para su movilización.

Los sistemas de transporte masivo y rápido nacen como una respuesta a las necesidades de movilización de grandes cantidades de pasajeros, especialmente en corredores densamente poblados. En muchos casos el servicio que prestan los sistemas de transporte genera externalidades positivas y fomentan el crecimiento en altura de las edificaciones y la densificación de su área de influencia.

Como hemos visto los sistemas masivos de transporte nacen en base a la necesidad de movilización, pero también deben ser analizados como una oportunidad de intervenir en el crecimiento y la competitividad de la ciudad. Es así que el proceso de análisis y selección de alternativas de sistemas de transporte se vuelve complejo y de suma importancia para las ciudades.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

El análisis y selección de alternativas para los estudios de sistemas de transporte es el primer paso en el proceso y define el o los modos a ser estudiados, por lo que provee información determinante para el futuro de la urbe. Este trabajo busca presentar una metodología que permita evaluar preliminarmente las alternativas de sistemas de transporte de forma previa a iniciar los estudios de pre-factibilidad y de esta forma aportar valiosa información para la toma de decisiones que permita ahorrar recursos financieros y tiempo.

1.1 Alcance de la investigación

Este trabajo presentará una metodología para la evaluación inicial de alternativas entre los sistemas de transporte público: sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT), sistemas de riel ligeros (LRT), y sistemas de riel pesados (metro), en base a información existente de costos promedio de inversión, costos promedio de operación y capacidad de transporte.

La investigación sobre los sistemas de transporte público descritos anteriormente se realizará en base a información secundaria. Una vez obtenida y procesada la información disponible, se procederá a analizar la misma y presentarla de tal forma que las características de cada sistema puedan ser comparadas entre sí.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

El documento presenta un análisis comparativo de las características de cada sistema y sus costos, esta información podrá ser utilizada para la toma de decisiones previo a los análisis de estudios de pre factibilidad en sistemas de transporte público urbano.

Como caso de estudio se realizará la evaluación de alternativas para el sector norte de la ciudad de Quito, con los datos de los estudios realizados por el Municipio de Quito durante los últimos años. Se recopilarán los datos más recientes para su procesamiento y análisis con el fin de establecer la alternativa más adecuada para el sistema de transporte.

1.2 Objetivo general investigación

El objetivo general es presentar una metodología que permita realizar una evaluación preliminar de alternativas para sistemas de transporte público previo a los estudios de pre-factibilidad.

El presente documento busca presentar las características más relevantes de los sistemas de transporte público, tal como costos de inversión, capacidad de transporte, costos de mantenimiento, velocidad de operación, flexibilidad del sistema, tiempo de implantación, entre otros, y realizar un análisis comparativo con el fin de establecer,



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

de forma preliminar, el o los sistemas de transporte más adecuados en una relación beneficio costo.

1.3 Objetivos específicos de la investigación

Para lograr establecer el proceso mediante el cual se puede determinar de forma preliminar la evaluación y la selección de un sistema de transporte público, se han identificado tres etapas específicas que deben ser consideradas en el análisis.

A continuación se describen los tres objetivos específicos que corresponden a las etapas antes mencionadas:

- Estimar la demanda de transporte público en la zona de estudio

En esta etapa se identificarán los pasos para estimar la cantidad de pasajeros que potencialmente demandarían el nuevo sistema. Para esto se analizarán estudios de campo y oficina que puedan ser realizados sin grandes costos financieros y de tiempo. Una vez establecida la demanda existente se detallará un proceso para la proyección de la demanda futura, con lo cual se podrá dimensionar las necesidades del sistema.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Determinar las alternativas y características de los modos disponibles

El siguiente paso consiste en establecer las características de los modos de transporte en estudio. Específicamente se estudiará su capacidad, velocidad de operación, flexibilidad, tiempo de implantación, costos de inversión y costos de operación.

Con estos datos se definirá la oferta que cada uno de estos modos de transporte público ofrece y sus costos promedio en base a sistemas en funcionamiento.

- Evaluación y selección del sistema

El tercer objetivo consiste en definir un proceso mediante el cual se identifique el sistema que permite cubrir las necesidades de transporte, actuales y futuras, con la menor inversión. En esta etapa se logra establecer el o los sistemas cuyas características técnicas permiten servir a la demanda actual y proyectada con estándares de comodidad y seguridad adecuados, y comparar sus costos para proveer información relevante en la toma de decisiones. Adicionalmente se presentará un caso de estudio para aplicar los conceptos para el análisis de alternativas.

1.4 Metodología de la investigación

El presente estudio se realizará en base al análisis de experiencias de sistemas de transporte urbano en diferentes ciudades. Se trabajará en base a información



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

existente, recopilando datos que permitan establecer las características de cada modo de transporte, para poder realizar un análisis comparativo.

Se recopilará información sobre cada uno de los modos de transporte en estudio: la información incluirá las características de los sistemas.

1.5 Marco teórico de la investigación

Las ciudades modernas enfrentan problemas cada días más complejos, el transporte público de pasajeros no es una excepción, más aún a medida que las ciudades y sus habitantes progresan el problemas del transporte se agrava.

En varios casos, las ciudades no han logrado planificar de forma adecuada los sistemas de transporte público, alentando así la compra y utilización intensiva del vehículo privado y transportes informales. Por lo tanto, la necesidad de estructurar sistemas de transporte público se vuelve clara una vez que los problemas de congestión, contaminación y espacio aparecen.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Las ciudades y sus habitantes dependen del transporte para poder desarrollar sus actividades y de ahí se desprende la importancia de que la planificación tome en consideración las alternativas más adecuadas en función de lograr una movilidad sostenible en el tiempo y que permita un traslado seguro.

Históricamente las ciudades han dependido del transporte interno y externo como elemento fundamental para su desarrollo. Desde los coches tirados por caballos, pasando por los primeros trolebuses, buses y sistemas riel, fueron desarrollados como soluciones para prestar servicios de transporte público.

A principios del siglo diecinueve Londres sufría de una congestión importante y sus autoridades toman lo que se conoce como la primera decisión para construir un sistema de transporte rápido y segregado del tráfico normal. Esta primera línea operada con trenes subterráneos en un tramo de aproximadamente 6 kilómetros fue inaugurada en 1863. Las condiciones de operación de máquinas a vapor en estrechos túneles no eran agradables, sin embargo los habitantes de Londres hacían uso del sistema por la rapidez que brindaba.

De forma progresiva algunas ciudades adoptaron sistemas de trenes: Berlín, Chicago, Nueva York, entre otras. La necesidad de sus habitantes de desplazarse de forma rápida y segura para generar sus actividades cotidianas requiere que las ciudades brinden las facilidades para desarrollar los sistemas de transporte.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En los últimos cien años los sistemas de transporte han sido un factor fundamental para el desarrollo. Los avances tecnológicos en diferentes modos de transporte han permitido tener varias alternativas disponibles para el transporte público. Sin embargo los problemas como la calidad del servicio, los altos costos de inversión y mantenimiento, la seguridad, entre otros continúan aquejando a estos sistemas desde el siglo pasado.

Es pertinente preguntarse si los problemas de los sistemas de transporte no radican en la tecnología, sino en la planificación, financiamiento y administración de los mismos. La falta de sistemas adecuados de transporte y la creciente necesidad de transporte han ocasionado que se generen servicios de transporte público privados, sin regulación ni control.

Las ciudades han reconocido la necesidad de planificar y regular los sistemas de transporte público para aliviar problemas relacionados con movilidad, contaminación, accidentes, pérdidas económicas congestión y otras externalidades.

La gran variedad de características operacionales, técnicas, financieras, tecnológicas, entre otras, de los sistemas de transporte hace que su análisis comparativo sea complejo y requiere un extenso conocimiento técnico. Por lo tanto una planificación urbana que incluya sistemas de transporte público debe ser estructurada con un



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

profundo entendimiento de las características de los modos y sistemas de transporte disponibles en concordancia con el uso del suelo.

En el Ecuador los sistemas de transporte público han sido implantados por emprendedores privados en su gran mayoría. Los emprendedores privados que prestan el servicio de transporte público son dueños de buses y por lo general se encuentran agrupados en cooperativas. Estas asociaciones de emprendedores han reconocido la necesidad de movilización y proveen un servicio muy importante para la población. Los Gobiernos Locales y el Gobierno Nacional por medio de La Comisión de Tránsito del Ecuador, normalmente regulan las actividades de estas asociaciones de forma posterior a su funcionamiento. Es común escuchar que grupos de personas dedicados al transporte “esperan ser regularizados”.

Claramente el transporte en Ecuador tiene un inicio en la informalidad, que se gesta en la necesidad de la población de acceder al servicio de transporte público para realizar sus actividades.

Las ciudades de Quito, Guayaquil y próximamente Cuenca han logrado establecer sistemas de transporte público planificados y ejecutados desde el gobierno local. Por lo tanto es importante identificar los factores por los cuales estas ciudades han logrado, en diferentes periodos de tiempo, iniciar procesos planificados para el transporte público.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Quito inicia el proceso de planificación de transporte a principios de los años noventa, en la administración del Sr. Rodrigo Paz. Este proceso determina la creación de la UPGT (Unidad de Planificación y Gestión del Tránsito), la misma que genera un plan maestro de transporte para la ciudad, con el sistema trolebús como “columna vertebral” (expresión utilizada desde esa época) y el sistema ecovía como un eje paralelo, el mismo que es terminado en la Administración del Econ. Roque Sevilla a finales del año 2000. En este periodo se establecen medidas importantes como la limitación de vida útil de las unidades a veinte años, el ordenamiento y regulación de rutas de buses y taxis, la semaforización sincronizada, entre otros.

En Guayaquil el proceso de planificación del transporte se inicia en los años dos mil, adoptando medidas similares a las de Quito que tienen, entre otros resultados, tres troncales del sistema Metrovía en operación. Este es un sistema de Buses de Rápido Tránsito, BRT (o BRT en inglés: Bus Rapid Transit).

Al momento en la ciudad de Guayaquil operan tres troncales de Metrovía, de las siete previstas para el sistema. De las tres que están en operación, dos operan a capacidad (1 y 3) y están en proceso de mejoramiento de capacidad. La tercera troncal (2) está operando en buenas condiciones con muy buena calidad de servicio.

El 75% de los viajes motorizados en esta ciudad se efectúa utilizando el sistema convencional de transporte, que opera de manera tradicional. Este servicio presenta



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

deficiencias con respecto a la ocupación de pasajeros por metro cuadrado y falta de aire acondicionado principalmente.

En la ciudad de Cuenca el proceso de planificación de transporte es más reciente y su principal sistema de transporte masivo se encuentra en construcción. Este sistema se operará con tranvías y está en construcción. Se espera que entre a operar en 2015, con una longitud de 14 kilómetros, 20 estaciones y con una demanda de pasajeros estimada en 120.000 pasajeros/día².

En las demás ciudades del Ecuador los sistemas de transporte público continúan siendo en su totalidad operados con buses convencionales de diferentes tipos, operados por emprendedores individuales y en general los gobiernos locales no han logrado planificar sistemas que operen de forma más organizada. Tal es así que la Comisión de Tránsito del Ecuador tomó a su cargo, mediante normativa legal, las competencias de planificar, regular y controlar el tránsito, el transporte terrestre y la seguridad vial en todas las Ciudades.

Mediante la resolución No. 006-CNC-2012, de fecha 26 de abril del 2012, el Consejo Nacional de Competencias resuelve transferir la competencia para planificar, regular y controlar el tránsito, el transporte terrestre y la seguridad vial, a favor de los gobiernos autónomos descentralizados de forma progresiva y establece entre otras

² (wikipedia, 2012)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

disposiciones, una clasificación de modelos de gestión para Municipios en función de: “las necesidades territoriales cantonales en tránsito, transporte terrestre y seguridad vial, la experiencia de los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales y requisitos de sostenibilidad del servicio” (Consejo Nacional de Competencias, Dr. Gustavo Bedón, 2012)

En esta resolución se establecen tres modelos de gestión: A, B y C, en el modelo A se incluye a Quito, Guayaquil, Cuenca, Ibarra, Loja, Ambato y Manta. En el modelo B se incluye a Latacunga, Riobamba, Machala, Milagro, Babahoyo, Quevedo, Portoviejo, Mejía, Rumiñahui y Santo Domingo. Los demás gobiernos locales se encuentran en la categoría C.

Esta categorización muestra claramente que los siete Municipios de la categoría A tienen mayor capacidad para asumir las competencias, y por lo tanto para planificar sistemas de transporte urbano. Sin embargo y como se indicó anteriormente, solo Quito, Guayaquil y Cuenca cuentan con experiencias en este aspecto, por lo que es importante realizar una distinción para estas tres ciudades, que han tenido una mayor capacidad institucional y recursos financieros para llevar a cabo la planificación del transporte público.

A continuación se encuentra un cuadro que recoge la clasificación del CNC y compara la población y el sistema de transporte que utiliza:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

Cuadro de la clasificación de GADs de acuerdo al CNC, con su respectiva población y sistema de transporte:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 1-2 Categorización de Municipios según CNC

Tipología	Cantón	Habitantes	Sistemas de transporte	Presupuesto Municipal referencial en millones
A	Quito, Guayaquil, Cuenca	500.000 a 3'000.000	Bus convencional, BRT, tranvía (c), Metro (c)	200M a 900M
	Ibarra, Loja, Ambato y Manta	200.000 a 499.000	Bus convencional	Hasta 150M
B	Latacunga, Riobamba, Machala*, Milagro, Babahoyo, Quevedo, Portoviejo, Mejía, Rumiñahui y Santo Domingo.	180.000 a 400.000	Bus convencional	Hasta 60M
C	Resto de cantones	Hasta 200.000	Bus convencional	Hasta 15M
(c) en fase de estudios y/o construcción				
M = millones				
* Machala cuenta con avances en carriles exclusivos para buses convencionales				

Fuente: CNC

Elaboración: propia



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Como se puede apreciar en el cuadro anterior las características urbanas en Ecuador tienen variaciones muy importantes. Estas variaciones constituyen factores determinantes para los estudios de sistemas de transporte.

Una de las características urbanas que debe ser tomada en cuenta es la morfología de la ciudad. En el caso de Quito, la ciudad se extiende de norte a sur por más de cuarenta kilómetros y en de este a oeste tiene un ancho aproximado de dos a seis kilómetros (sin tomar en cuenta los valles aledaños, que deben ser analizados con sus propias necesidades de transporte). Esto ha provocado que se creen importantes corredores norte – sur como La Av. Mariscal Sucre, La Av. 10 de Agosto, La Av. 6 de Diciembre, entre otros.

Es lógico pensar que estos son los corredores con mayor demanda dentro del sistema de transporte público y al revisar los datos de pasajeros transportados se puede confirmar esta afirmación. A continuación se presentan los datos de demanda de los corredores de transporte público en Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 1-3 Características de los corredores BRT en Quito

Corredor	Demanda diaria	Carga máxima (hora pico)	Longitud en km.	Frecuencia pico (en unidades)
Trolebús	215.000	11.400	17.80	80
Ecovía	142.000	7.500	9.30	45
Sur-oriental	55.000	3.000	15.00	45
Sur-occidental	165.000	8.500	13.30	n/a

Fuente: (EPQ Empresa de Pasajeros de Quito, 2013)

Para finales del 2014 se nota un claro incremento en los datos de pasajeros para los sistemas masivos de Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

A continuación se muestra la tabla:

Tabla 1-4 Tabla de transporte público colectivo por día en el DMQ

Viajes en transporte público colectivo por día en el DMQ: Viajes diarios en los diferentes subsistemas de transporte público en el DMQ - proyección 2014*			
Troncales de los Corredores BRT	630.000	22,5%	34,5%
Alimentadoras de los Corredores BRT	335.000	12,0%	
Convencional Urbano	1.020.000	36,4%	36,4%
Convencional Intra e Interparroquial	340.000	12,1%	12,1%
Escolar e Institucional	425.000	15,2%	15,2%
Camionetas informales	50.000	1,8%	1,8%
TOTAL	2.800.000	100,0%	100,0%

** Se incluye el transporte escolar e institucional por ser transporte colectivo*

Elaboración: Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito

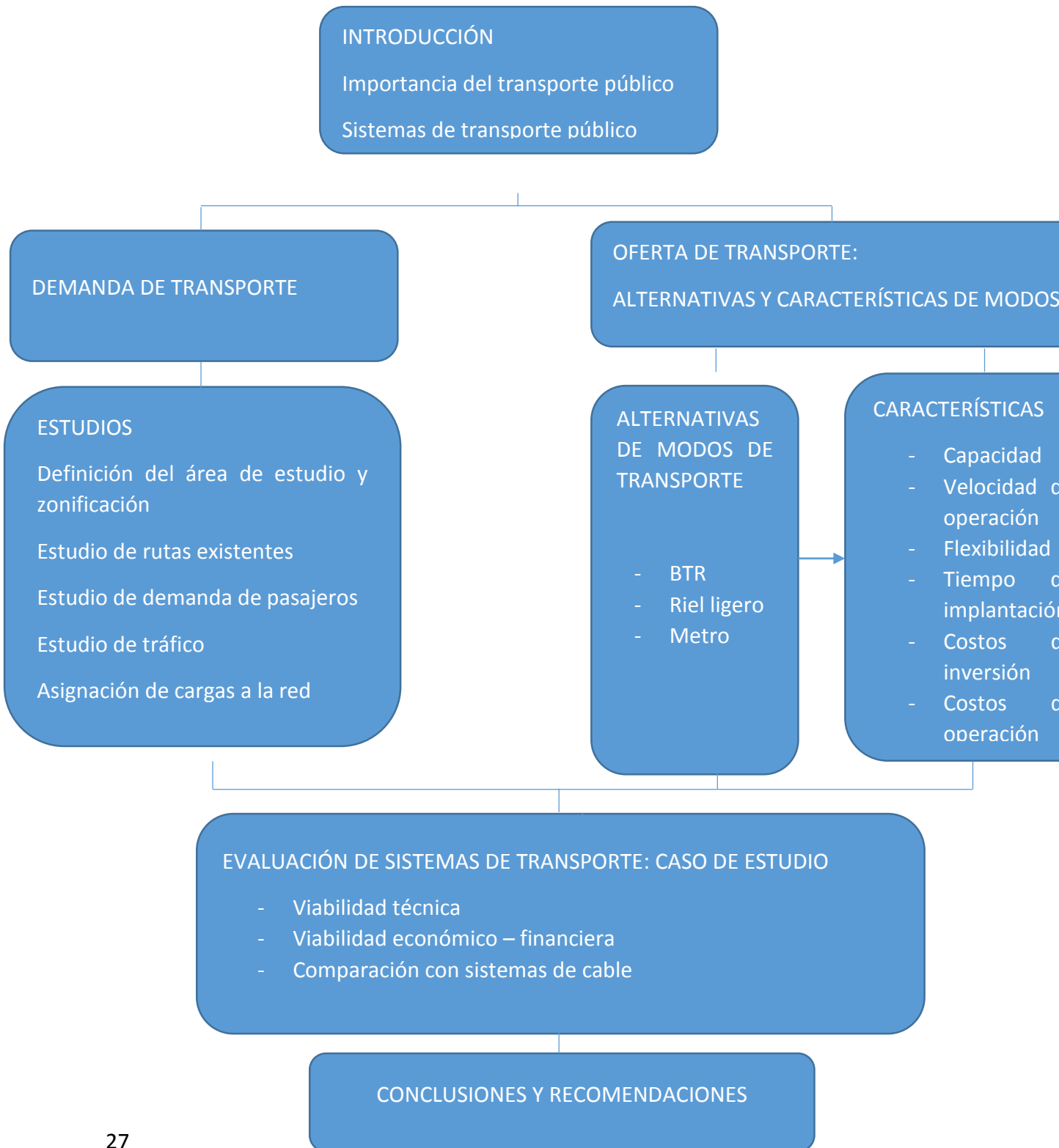
Fuentes: Estudio de movilidad-Proyecto Metro de Quito – 2011 y Reporte de la EPMPQ-octubre 2014

Los datos de las tablas precedentes muestran la importancia de los sistemas de transporte público en la movilización masiva de pasajeros dentro de la ciudad. Estos sistemas requieren grandes inversiones y su viabilidad económica/financiera es uno de los factores decisivos para la evaluación de alternativas. En ciudades con presupuestos más limitados, que todavía tienen dificultades para cubrir las necesidades básicas de sus habitantes, se vuelve indispensable realizar el análisis de alternativas, con el fin de optimizar el uso de esos escasos recursos.



1.6 Flujo de trabajo de la investigación

El siguiente gráfico muestra el flujo de trabajo propuesto para este análisis





Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

1.7 Importancia del transporte público y su demanda

La importancia del transporte público radica en la capacidad de movilizar gran cantidad de personas de forma eficiente: rápida, segura y a un costo razonable. Su importancia ha crecido a medida que las ciudades generan un mayor desarrollo, ya que este desarrollo implica un mayor número de actividades, mayor congestión vehicular, mayor contaminación, mayores distancias de viaje, mayor cantidad de personas que necesitan moverse, entre otros factores.

El transporte público permite que las sociedades progresen y es uno de los elementos fundamentales que generan eficiencia en los procesos urbanos. Al pensar cómo se proyecta una ciudad sin transporte público, es prudente imaginar la necesidad de que cada persona se movilice en vehículos particulares (para viajes de mediana y larga distancia), incrementando las necesidades de espacio (vías, estacionamientos, etc.) y requiriendo mayores niveles de energía. El transporte público en contraste, disminuye las necesidades de espacio y de energía permitiendo desplazamientos más eficientes. Una ciudad que busca ser productiva requiere de sistemas de transporte público que permitan una eficiente utilización de los escasos recursos disponibles.

En 1963 Colin Buchanan publicó su informe *Traffic in Towns*, en este estudio se concluía que no era factible realizar todos los viajes de las ciudades en vehículos particulares, refutando las estrategias adoptadas por algunas Ciudades (Los Ángeles



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

por ejemplo). A pesar de que las conclusiones de *Traffic in Towns* han sido confirmadas y tienen más de cincuenta años de vigencia, muchas ciudades continúan creando condiciones que favorecen la intensiva utilización del vehículo particular y solo cuando la congestión alcanza niveles alarmantes se retoma la importancia del transporte público.

Por otra parte en sociedades donde los niveles de pobreza permanecen altos, la importancia del transporte público también radica en permitir el acceso al transporte a las personas de menores recursos. Este segmento de la población no tiene la capacidad adquisitiva para movilizarse en vehículo particular y depende completamente del transporte público, sumado a esto su ubicación, en sitios de menor costo, se encuentra lejos de los centros de actividades de las ciudades y dificulta su traslado.

Se suma a esto el hecho de que los sistemas de transporte público son más amigables con el medio ambiente. Las ciudades modernas enfrentan grandes problemas de contaminación (Ciudad de México, Beijín, Quito) especialmente creados por la intensiva utilización del vehículo particular. La creación y adecuado funcionamiento de sistemas de transporte público permiten disminuir la intensiva utilización de vehículos particulares, con externalidades positivas como disminución de contaminación (sonora y de gases de motores a combustión), disminución de riesgos



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

de accidentes, disminución de efectos de segregación por grandes vías con intenso tráfico que separa las áreas por las que atraviesan (ej. Av. Occidental en Quito).

El efecto paradójico de que a mayor desarrollo de una sociedad mayores conflictos de transporte resalta la importancia de la planificación del transporte en general y específicamente la de los sistemas de transporte público; ¿pero qué sistema de transporte público es adecuado para un área específica de la ciudad?

Los avances en el desarrollo de tecnologías de transporte han permitido que varios sistemas de transporte estén al alcance de las ciudades. Cada sistema de transporte público tiene sus características particulares, sin embargo las inversiones necesarias son bastante altas y es prudente que sean analizadas de forma muy precisa para determinar el sistema que logre satisfacer sus necesidades con la menor cantidad de recursos posibles.

Como se explicó en los párrafos anteriores, la evolución de sociedades predominantemente agrarias a sociedades modernas, en las cuales las ciudades crecen de forma vertiginosa, y los avances tecnológicos permiten un intercambio de información cada vez más rápido y eficiente, han provocado que el número de actividades realizadas por las personas se incremente de forma exponencial. Este incremento ha sido acompañado por un incremento en la demanda de transporte en



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

general, esta demanda ha sido satisfecha en diferentes modos: vehículo privado, taxis, buses, trolebuses, tranvías, metros, entre otros.

El transporte público de pasajeros ha sido parte fundamental del desarrollo de las sociedades modernas, su crecimiento tiene directa relación con el incremento de las actividades. Como se describió anteriormente, su origen responde a una necesidad social que es percibida por empresarios privados que buscan proveer el servicio a cambio de una compensación monetaria.

El transporte público es un servicio, y en tal sentido responde a las “leyes del mercado” como otros productos o servicios: a mayor demanda, mayor precio o con menor demanda, menor precio. El costo del transporte público no debe ser entendido en el sentido de la tarifa que se paga al ingresar al vehículo, sino en el costo total que tiene para la sociedad y los usuarios: tiempo de viaje, seguridad, accesibilidad a la parada.

Por otra parte este servicio tiene una característica especial, la de que para su prestación se debe utilizar recursos públicos (espacio en las vías, frecuencias, etc.), por lo tanto el estado nacional y los niveles municipales han establecido regulaciones que buscan para optimizar su prestación y organizar el sistema.

Las inversiones en sistemas de transporte público requieren grandes capitales, especialmente las que incluyen sistemas de trenes. Este hecho, la necesidad de



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

proveer servicios de transporte público y las externalidades negativas asociadas con el intensivo uso de vehículos particulares han provocado que el estado en sus diferentes niveles intervenga de forma directa para la prestación de estos servicios.

Las grandes ciudades han comprendido que el transporte público permite movilizar una gran cantidad de personas con bajos costos y ha sido adoptado como la principal solución para áreas densamente pobladas. En este estudio se analizan los procesos a través de los cuales se puede realizar la evaluación de alternativas de transporte público.

1.8 Sistemas de transporte público y sus características

En la primera sección se analizarán tres modos de transporte que han sido ampliamente utilizados en sistemas de transporte masivo: buses de tránsito rápido, trenes ligeros y trenes.

1.8.1 Sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT)

Los sistemas de buses de rápido tránsito, también conocidos como BRT por sus siglas en inglés (Bus Rapid Transit), son sistemas de transporte público de alta capacidad, basados en autobuses o trolebuses, generalmente con vehículos de gran capacidad como articulados o bi-articulados.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tienen como principales características³ las siguientes:

- Derecho de vía, en general carriles exclusivos de circulación con separación,
- Paradas cerradas y seguras en superficie,
- Sistema de pago al ingreso de la parada (antes de abordar),
- Prioridad en el cruce de intersecciones,
- Embarque y desembarque en paradas a nivel del autobús
- Servicio con alta frecuencia

³ (Institute for Transportation & Development Policy ITDP, 2013, febrero 14)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias



Ilustración 1-1 Sistema trolebús - Quito

Fuente:

[http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/81/Quito Trole 08 2011 3335.jpg](http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/81/Quito_Trole_08_2011_3335.jpg)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En la fotografía precedente se puede observar los carriles exclusivos, con separación física y las paradas a nivel del sistema trolebús en Quito.

El Sistema BRT moderno tiene como uno de sus orígenes la Ciudad de Quito en 1995, y sin duda tiene como inspiración el sistema de transporte público de la ciudad de Curitiba. El trolebús de Quito, como se lo conoce, fue diseñado como un sistema integrado, basado en un eje central de 17 km. que se extiende de norte a sur y transporte aproximadamente 260.000 pasajeros por día. En diciembre del 2014 se estima que ha llegado a transportar más de 300.000 pasajeros por día (incluyendo las transferencias que generan otros sistemas a la troncal). El sistema fue diseñado con 113 unidades de trolebuses articulados, con capacidad para 180 pasajeros cada uno, con un índice de hasta siete pasajeros por metro cuadrado y ha estado en operación durante 19 años.

A partir de la experiencia de Quito varios sistemas BRT han sido desarrollados y probablemente el que más pasajeros transporta es el sistema Trasmilenio de Bogotá, con una capacidad de transporte de 37,700 pasajeros por hora y por dirección (Institute for Transportation & Development Policy, n.d.)⁴. El trolebús fue diseñado considerando una demanda aproximada de 7,000 pasajeros hora dirección, lo que claramente demuestra la flexibilidad y el desarrollo de los sistemas BRT en su capacidad.

⁴ (Revista Semana, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

1.8.2 Sistemas de riel ligero (LRT)

Los sistemas de riel ligero, llamados LRT por sus siglas en inglés (Light Rail Transit) son sistemas de transporte operados con coches de pasajeros que circulan sobre un riel fijo y en general tienen un derecho de vía establecido. Como su nombre lo indica, son sistemas que no permiten cargar grandes pesos, por lo que generalmente se utilizan de uno a tres coches para el transporte de pasajeros.

Los vehículos de estos sistemas utilizan motores eléctricos en general, y toman su energía de líneas eléctricas ubicadas sobre la vía. El embarque y desembarque de pasajeros es realizado a nivel o por medio de escalones. (America Public Transportation Association, n.d.)

Los sistemas de riel ligero incluyen el tranvía, esto implica que utilizan carriles exclusivos o comparten la vía con el tráfico normal de la ciudad. Este tipo de transporte tiende a insertarse en la Ciudad sin mayores inconvenientes y es muy utilizado en Ciudades Europeas como Estrasburgo, Berlín, Londres, entre otras. A continuación se puede ver el tranvía de la Ciudad Clermont – Ferrand en Francia y se puede apreciar como el sistema se integra a la Ciudad sin mayores dificultades.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias



Ilustración 1-2 Tranvía Clermont-Ferrand, Francia

1.8.3 Sistemas de riel pesado (Metro)

Los sistemas de riel pesado son sistemas de transporte de pasajeros basados sobre rieles que soportan grandes cargas. Se refieren generalmente a trenes subterráneos o elevados que tienen un derecho de vía exclusivo y segregado totalmente de otros modos de transporte, el embarque y desembarque se realiza en plataformas a nivel permitiendo que un gran número de pasajeros ingresen y salgan de forma rápida.. En general estos sistemas tienen entre dos y doce vagones, toman su energía de un tercer riel o un cable sobre la ruta y utilizan motores eléctricos (ver ilustraciones a continuación).



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias



Ilustración 1-3 Metro subterráneo de Madrid



Ilustración 1-4 Metro de Medellín

El primer sistema de “metro” se construyó en Londres en 1863 y tenía seis kilómetros de largo, de forma posterior otras ciudades adoptaron el sistema, Nueva York, Chicago, París, entre otras. En Latinoamérica, Buenos Aires fue la ciudad pionera en utilizar este sistema, inaugurando la línea A en 1913. A partir de los años setenta las Ciudades de México, San Pablo, Río de Janeiro, Santiago y Caracas desarrollaron sistemas de metro.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Hoy en día se continúan construyendo sistemas de metro, los casos más recientes en Latinoamérica son: Lima y Panamá. La línea 2 del metro de Lima que fue recientemente contratada está proyectada con una longitud de 27 km y se prevé una inversión de US \$5,346 millones de dólares⁵ (Wikipedia, n.d.). El metro de Ciudad de Panamá tiene una longitud de 13.7 km y ha tenido un costo aproximado de US \$1,880 millones de dólares (Metro de Panama, 2014).

Los sistemas de metro pueden ser utilizados en superficie o elevados como es el caso de Medellín o subterráneos, como es el caso de Buenos Aires. Existe una importante variación en el costo en función de esta diferencia y es necesario incorporar al análisis este factor así como el sistema constructivo cuando es subterráneo (en trinchera o con tuneladora).

⁵ (Wikipedia, n.d.)



2. Demanda de transporte público

Estimar la demanda para un nuevo sistema de transporte público es una de las tareas más complejas de la ingeniería de transporte. El proceso de estimación de demanda en general toma como herramienta el modelo de cuatro etapas, este modelo fue desarrollado en los años 1950 en Chicago.

Las etapas del modelo son:

1. **Generación:** en esta etapa se determinan los orígenes y destinos de los viajes en la zona de estudio. De forma paralela se clasifican los viajes por motivos (trabajo, estudio, entre otros)
2. **Distribución:** en esta etapa se distribuyen los viajes, entre los orígenes y los destinos, generalmente con un modelo gravitacional.
3. **Selección modal:** en esta etapa se estima la cantidad de viajes entre orígenes y destinos que utilizarán un modo de transporte particular, por ejemplo vehículo privado. La forma de selección modal normalmente responde a la metodología “logit” desarrollada por Daniel McFadden.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4. **Asignación:** esta es la última etapa del modelo y asigna los viajes de un origen a un destino, en un modo de transporte, a una ruta en particular. Para la asignación, normalmente se utiliza el principio de Wardrop, que establece que las personas (en general conductores en Estados Unidos) seleccionarán la ruta con el menor tiempo de viaje.

Se puede indicar que para ciudades de países en desarrollo las dos últimas etapas del modelo tienen limitaciones en su aplicación. La etapa de selección modal, implica que las personas tienen la posibilidad de elegir entre diferentes modos de transporte, sin embargo, en Quito por ejemplo muchas veces solo existe la posibilidad de tomar un modo de transporte. En la etapa de asignación, es necesario considerar que una parte importante de la población no tiene un automóvil particular o no tiene los recursos para tomar la ruta con menor tiempo y prefiere una ruta más larga con menor costo.

Las diferencias entre las ciudades de países desarrollados, como las norteamericanas o las europeas, y las ciudades de países en desarrollo, como las ecuatorianas, deben ser tomadas en consideración para la adecuada calibración del modelo.

2.1 Demanda actual



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En esta sección se describe la metodología para la estimación de la demanda actual, con las diferentes etapas del proceso, en primer lugar se analizará la definición del área de estudio y la zonificación.

2.1.1 Definición del área de estudio y zonificación

Para definir el área de estudio se deben considerar diferentes factores que influyen en la identificación de potenciales rutas para la implantación del sistema masivo.

Como se indicó de forma precedente, en este análisis se incluirá la morfología de la ciudad, pero sobre todo es necesario considerar la demanda existente en transporte público. La experiencia en América Latina es que los sistemas de transporte masivo no han tenido éxito en atraer grandes porciones de los viajeros que ya se encuentran realizando traslados en vehículos privados. Por lo tanto es necesario tomar como principal fuente de demanda, los viajes en transporte público que se encuentran en el área de influencia de los potenciales corredores.

Las rutas de buses convencionales, en general, intentan seguir los trazados que mayor cantidad de pasajeros generan. Es decir que una avenida que cuente con un importante número de líneas de transporte público convencional probablemente será un corredor con una gran demanda de viajes. Este fue el caso de la Av. 10 de agosto



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

en Quito, los operadores históricos se encontraban operando en gran parte sobre la Av. 10 de agosto, en especial en la entrada al centro histórico.



Ilustración 2-1 Av. 10 de Agosto, Quito antes del sistema trolebús

Fuente: recorte de prensa, Ing. César Arias - 1992

En la fotografía precedente se puede observar la concentración de buses de transporte urbano sobre la avenida 10 de agosto en el sector del parque El Ejido. Este tramo fue transformado por el sistema trolebús para atender a la demanda que era servida por estos buses convencionales.

Por lo tanto para definir el área de estudio es necesario realizar un estudio de rutas de transporte público. Para esto se requiere hacer una investigación que identifique los siguientes aspectos:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Recorrido de rutas de transporte público
- Frecuencias
- Itinerarios
- Flotas
- Tiempos de vuelta

Este estudio de rutas de transporte público permite establecer que corredores cuentan con un mayor número de buses. Si bien se puede pensar que un mayor número de buses tiene a relacionarse con una mayor demanda, esto depende de las características de los buses y los tramos de mayor carga. Por lo tanto los resultados de este primer estudio pueden ser considerados como preliminares, ya que no se puede establecer la cantidad de pasajeros que embarcan, desembarcan y en que tramos. Es necesario por lo tanto identificar las capacidades de los vehículos y las frecuencias, en hora pico, y de esta forma estimar la capacidad del sistema en pasajeros por hora y por dirección.

Una vez que se cuenta con la capacidad estimada del sistema, es necesario realizar un recorrido de campo en las líneas de transporte público que permita identificar la ocupación de los buses y los tramos de mayor carga. De forma posterior se puede



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

realizar un análisis comparativo entre la capacidad instalada del sistema y la cantidad de pasajeros efectivamente transportados.

Este estudio preliminar permite identificar potenciales corredores para definir el área de estudio.

Con los datos recolectados es recomendable realizar un análisis multicriterio que permita establecer factores y prioridades para definir el potencial corredor a estudiar.

En este análisis se deberán integrar diferentes variables para evaluar las varias alternativas planteadas. Entre las variables que se pueden estudiar se encuentran las siguientes:

- Medio ambiente y riesgos

Trata evaluar las restricciones ambientales que podrían impactar las alternativas propuestas, y también las restricciones debidas a los riesgos naturales.

- Ambiente de vida urbano

Trata evaluar los impactos positivos o negativos del proyecto sobre el ambiente de vida de las personas que viven a lo largo del corredor. Estos impactos pueden ser impactos temporales durante la construcción o impactos permanentes después de la puesta en marcha del servicio.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Impacto del servicio sobre los usuarios

Se enfoca al análisis de los impactos sociales y busca evaluar los beneficios que tendrán los potenciales usuarios.

- Accesibilidad e impacto en la red de transporte público

Se enfoca sobre los impactos positivos o negativos del proyecto sobre los niveles de accesibilidad a los servicios y sus impactos sobre la red de transporte de la ciudad.

- Costos y rentabilidad

En esta área se realiza la comparación de los costos de inversión inicial y de operación de las alternativas planteadas a nivel preliminar.

- Dificultades técnicas

Estudia las dificultades técnicas particulares de cada alternativa que se podrían encontrar durante la construcción o durante la operación.

Cada área puede subdividirse para profundizar el análisis en caso de que las alternativas en estudio tengan resultados muy cercanos.

El resultado final de este análisis será una matriz de evaluación multi-criterio como la que se muestra a continuación:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 2-1 Matriz de evaluación multicriterio

	MATRIZ DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO				
Criterio	Peso del criterio	Indicadores	Tipo	Peso del indicador	Calificación
Ambiental	15%	Corte de árboles	Cuantitativo	50%	
		Calidad de aire	Cuantitativo	50%	
Costos y rentabilidad	40%	TIR	Cuantitativo	25%	
		Costos fijos	Cuantitativo	75%	
Dificultades técnicas	20%	Pendientes	Cuantitativo	100%	
Ambiente urbano	25%	Cohesión social	Cualitativo	100%	

Para cada criterio se puede asignar una escala de puntuación que poder ir de uno a cinco o de uno a diez dependiendo del tipo de análisis que se quiera realizar.

Esta matriz nos permitirá evaluar diferente escenarios asignando pesos a los indicadores y a los criterios de acuerdo a las prioridades que se busque atender con el proyecto.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

2.1.1.1 Recolección de información secundaria

A continuación se detallan los objetivos, datos y resultados para esta actividad

<p><i>Objetivo(s)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Recolección y revisión de toda la información relativa existente, así como en otros organismos que dispongan que tengan información relevante con relación al estudio.</i>
<p><i>Datos de entrada</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Planes de ordenamiento territorial y planes de movilidad existentes.</i> - <i>Planos digitales actuales de zonas, sistema viario, rutas de transporte, cartografía en general.</i> - <i>Zonificaciones existentes (de ser el caso), por ejemplo la zonificación realizada por el INEC para los censos.</i> - <i>Datos demográficos (CENSOS) y proyecciones poblacionales.</i> - <i>Datos de operacionales de transporte público, datos socio-económicos, datos de tráfico existente.</i> - <i>Datos del sistema de transporte.</i> - <i>Datos de futuros proyectos de transporte.</i>
<p><i>Resultado(s)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Apoyo y verificación de los datos obtenidos en campo,</i> - <i>Incorporación de parámetros al estudio.</i>

Por otra parte es importante recolectar información de las empresas de servicios públicos relacionados con la ejecución del proyecto (especialmente empresa eléctrica y de agua potable y alcantarillado).



2.1.2 Estudio de rutas existentes

El estudio de rutas de transporte público fue explicado en la sección anterior, por lo que en este punto se realiza un resumen simplificado de cada actividad.

2.1.2.1 Estudio de frecuencia de buses

A continuación se detallan los objetivos, datos y resultados para esta actividad

<p>Objetivo(s)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Identificación de despachos de cada ruta de bus que utilice el corredor,</i> - <i>Identificación de las frecuencias, intervalos tipos y cooperativas o empresas que prestan el servicio de transporte público.</i>
<p>Datos de entrada</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Base de datos de las características operacionales de las rutas de transporte público.</i>
<p>Resultado(s)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Estimación de la capacidad del sistema en estudio en pasajeros por hora y por dirección.</i>



2.1.2.2 Estudio de tiempo de recorrido

Objetivo(s)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Conocer los tiempos de viaje de los buses de transporte público de las rutas que tengan influencia en el corredor.</i>
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Base de datos de tiempos de viaje de buses
Resultado(s)	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempos de recorrido (tiempo de vuelta) y velocidades comerciales de las rutas de transporte público en el corredor

El estudio se puede realizar con el método del “vehículo en movimiento” en forma aleatoria durante todo el día para cada recorrido.

2.1.3 Estudio de demanda de pasajeros

Objetivo(s)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Estimación de demanda de pasajeros.</i>
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Estudio de ascenso y descenso de pasajeros.</i> - <i>Encuestas de origen y destino en el área de estudio.</i> - <i>Estudio de ocupación visual de los buses convencionales y vehículos particulares del área de estudio.</i>



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Resultado(s)	- <i>Estimación de la demanda actual de pasajeros para el transporte público colectivo.</i>
--------------	---

2.1.3.1 Estudios de ascenso y descenso de pasajeros

Objetivo(s)	- <i>Conteo de ascenso y descenso de pasajeros en buses</i>
Datos de entrada	- <i>Base de datos de ascenso y descenso de pasajeros</i>
Resultado(s)	- <i>Cantidad de personas que ascienden, descienden, y quedan por autobús, en cada uno de los tramos del recorrido.</i>

2.1.3.2 Encuestas de origen y destino

Objetivo(s)	- <i>Determinar el número de viajes de los pasajeros del corredor hacia las distintas zonas generadas para el estudio</i>
Datos de entrada	- <i>Base de datos de encuestas</i>
Resultado(s)	- <i>Matriz origen destino de viajes de los pasajeros en distintos modos que influyen en el corredor</i>



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Las encuestas de origen y destino son parte de la categoría de encuestas de preferencias declaradas, y en los años 70 fueron ampliamente utilizadas para áreas urbanas. En este periodo las muestras tomadas representaban un enorme esfuerzo en recursos económicos, humanos y tiempo, ya que se intentaba representar toda el área urbana de la ciudad.

Actualmente las encuestas de origen y destino, en general, se restringen a un área más acotada y precisa que permite el empleo de los recursos de una forma más eficiente, por ejemplo el área de influencia de un corredor de transporte público. Para esto se determina un cordón externo en el cual la zonificación tiene un menor detalle (zonas más grandes) y un cordón interno con zonificación detallada (zonas más pequeñas), lo que permite la identificación de las líneas de deseo en función del corredor de estudio.

Normalmente las encuestas de origen y destino se programan para ser realizadas en fechas “normales”, es decir fechas que representen un día típico (laboral) y por lo tanto el comportamiento regular de los viajeros y los habitantes del área de estudio. Por lo regular se excluyen los días lunes y viernes, ya que estos días tienen una tendencia diferente, ya que generan mayores niveles de tráfico y congestión en áreas urbanas y al tomar estos dato se corre el riesgo de sobre estimar la demanda. Sin embargo, en los últimos años se ha tomado en consideración los días viernes, con el



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

fin de tener datos comparativos de la variación inter-semanal para la programación operacional de los sistemas de transporte público masivo.

En cuanto al horario de realización de la encuesta, este debe ser programado de forma tal que se asegure la toma de datos durante la hora pico. Para esto es necesario analizar encuestas y estudios previos que permitan tener una primera idea de la hora pico en el área de estudio. Por ejemplo en Quito la hora pico para el transporte público en los valles aledaños al hiper-centro inicia aproximadamente a las 06h00, mientras que la hora pico para el transporte privado en el hiper centro inicia a las 08h00, este tipo de datos deben ser considerados al momento de programar la encuesta en vía pública.

En el caso de encuestas de origen y destino domiciliarias, se estila realizar la encuesta en horas de la noche, entra las 18h00 y las 21h00 ya que a esta hora normalmente se encuentran todos los miembros del hogar en el domicilio. En este caso la encuesta se realiza al jefe del hogar. En los últimos años, estas tipo de encuesta domiciliaria ha presentado resistencia, ya que los encuestados temen estar dando información a delincuentes y facilitando el potencial robo de su domicilio, por lo que las encuestadoras han optado por realizar visitas personales previas, con identificaciones de una institución pública para establecer que se trata de una encuesta y obtener respuestas adecuadas durante la entrevista.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La labor previa para la realización de estas encuestas incluye, de forma adicional al proceso antes descrito, el testeo de horarios, circunstancias y modalidades más apropiadas para la toma de datos. Esta preparación es crucial, ya que repetir el trabajo de campo representa enormes costos en tiempo y dinero.

Para la realización de la encuesta, normalmente se separan grupos de encuestadores a quienes se asigna un supervisor con experiencia previa en este tipo de trabajos. De forma previa se realiza una capacitación a los encuestadores que permitirá relevar información real y en la medida de lo posible descartar información sin relevancia o equivocada.

Al realizar las encuestas en varios días se asume que las respuestas de los días estudiados es una representación razonable de lo que pasa en un día normal, lo cual es una hipótesis normalmente aceptada para estudios de campo de esta naturaleza.

Para el diseño del formulario se debe considerar la medición de los patrones de comportamiento de los hogares y de forma paralela los requerimientos del programa de modelación que se va a utilizar.

A continuación se detallan algunos de los elementos que se deben considerar en el diseño de la encuesta:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Las preguntas deben ser simples, directas y en lo posible evitar preguntas abiertas.
- La información de los viajes debe ser consultada en función de las actividades realizadas (cuál fue el motivo del viaje)
- La encuesta debe ser dirigida al jefe del hogar y de ser posible a cada miembro del hogar mayor de 15 años, o al menos al jefe del hogar como se indicó anteriormente.
- Entre la información solicitada en la encuesta se debe incluir:
 - Sexo,
 - Edad,
 - Nivel de educación
 - Actividad
 - Posición dentro del grupo familiar,
- Para la identificación de los viajes se debe eliminar la mayor cantidad de información subjetiva. Esta parte de la encuesta busca determinar y caracterizar los viajes realizados por los encuestados. En general se considera un viaje a cualquier desplazamiento superior a 300 metros. Las variables se caracterizan son las siguientes:
 - Origen y destino (se pide que se indique la intersección),
 - Tipo y propósito del viaje,
 - Hora de inicio y fin del viaje,



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Modo de transporte utilizado,
 - Número de cuadras caminadas antes de tomar transporte motorizado,
 - Número de cuadras caminadas después de tomar transporte motorizado,
 - Número de trasbordos realizados,
 - Lugares de trasbordo
 - Costo parcial y total del viaje
- En la encuesta también se estila identificar las características socio-económicas de los encuestados. Entre los datos más importantes a recabar esta sección se encuentra el nivel de ingreso. A continuación se detallan algunas de las preguntas que van en el formulario:
- Características de la vivienda
 - Identificación de vehículos del hogar
 - Pertenencia de la vivienda
 - Ingresos mensuales de los miembros del hogar

Para lograr información más precisa en el estudio, se debe realizar encuestas domiciliarias y encuestas fuera de domicilio, estas últimas permiten tener información sobre desplazamientos que no se detectan con las encuestas domiciliarias, por ejemplo viajes de paso. Con estos datos también se puede validar la información



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

recolectada en las encuestas domiciliarias. Para estas encuestas el proceso es similar, pero como la entrevista debe ser realizada en la calle, los encuestadores deben prever estaciones de recolección de datos en lugares estratégicos y planificar la generación de las encuestas para tomar en consideración la hora pico, por ejemplo en Quito entre las 06h00 y las 09h00 de la mañana.

Para tener información de alta calidad, las encuestas se podrán realizar en cuatro días hábiles en vías públicas de influencia del corredor, a bordo de los buses que sirven en el área de influencia del corredor y en los domicilios del área de influencia del corredor.

El tamaño de la muestra debe ser determinado de forma que permita tener aproximadamente un 95% de confiabilidad estadística. En general el porcentaje utilizado para este tipo de trabajos es aproximadamente el 8% del universo (diario). Es recomendable recopilar la información en períodos de quince minutos y en el horario comprendido entre las 05h00 y las 22h00 horas. Esta información no solo servirá para estimar la demandad sino para realizar recomendaciones sobre la operación del sistema

A continuación se muestra un ejemplo de formulario para la recolección de información de viajes utilizado por la Secretaría de Planificación de Chile :



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Detención N°	A. ¿CUÁNDO SALIÓ UD.? <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	D. ¿QUÉ HIZO UD. ALLÍ?	E. ¿CÓMO SE TRANSPORTÓ UD. ALLÍ?	F. ¿DÓNDE ESTACIONÓ? No estacionó <input type="checkbox"/> 1 Fuera de la Calle: Cortesia negocio <input type="checkbox"/> 2 Estacionamiento bajo techo <input type="checkbox"/> 3 Estacionamiento abierto <input type="checkbox"/> 4 Propiedad del residente <input type="checkbox"/> 5 <i>(Pasar a la pregunta siguiente)</i> En la Calle: Con limite de tiempo <input type="checkbox"/> 6 Sin limite de tiempo <input type="checkbox"/> 7 Otros <i>(Especificar)</i> <input type="checkbox"/> 8	G. ¿CUÁNTO GASTÓ POR ESTACIONAR? <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> por tiempo <input type="checkbox"/> 1 por día <input type="checkbox"/> 2 por semana <input type="checkbox"/> 3 por mes <input type="checkbox"/> 4 Otros <i>(Especificar)</i> <input type="checkbox"/> 5 por tiempo <input type="checkbox"/> 6
	B. ¿QUÉ HIZO UD. DESPUÉS? DE AHÍ, ¿ADÓNDE FUE UD DESPUÉS? ¿INTERRUMPIÓ UD. EL VIAJE EN ALGUNA PARTE?	Hogar <input type="checkbox"/> 1 Trabajo <input type="checkbox"/> 2 Trabajo principal <input type="checkbox"/> 2 Otro trabajo <input type="checkbox"/> 3 Gestión empresa <input type="checkbox"/> 4 Educación <input type="checkbox"/> 5 Compras <input type="checkbox"/> 6 Bienestar Social <input type="checkbox"/> 7 Trámites Personales <input type="checkbox"/> 8 Médico/Dental <input type="checkbox"/> 9 Social/Recreacional <input type="checkbox"/> A Viaje de Acompañante <input type="checkbox"/> B Transbordo <input type="checkbox"/> C	Conductor: Automóvil <input type="checkbox"/> A Camión <input type="checkbox"/> B Bicicleta-moto <input type="checkbox"/> C Otros <input type="checkbox"/> D Pasajero: Automóvil <input type="checkbox"/> E Camión <input type="checkbox"/> F Bicicleta-moto <input type="checkbox"/> G Otros <input type="checkbox"/> H Tren <input type="checkbox"/> I Tranvía <input type="checkbox"/> J Bus Escolar <input type="checkbox"/> K Otro Tipo Transporte Privado <input type="checkbox"/> L Transporte Público/Comunal <input type="checkbox"/> M Avión <input type="checkbox"/> N Taxi <input type="checkbox"/> O Bicicleta <input type="checkbox"/> P A pié <input type="checkbox"/> Q Otros <input type="checkbox"/> R	H. ¿UTILIZÓ UD. UN PASAJE Sencillo? <input type="checkbox"/> 1 Pasaje Semanal? <input type="checkbox"/> 2 Pasaje Mensual? <input type="checkbox"/> 3 ¿Viajó Gratis? <input type="checkbox"/> 4 <i>(Pasar a la pregunta siguiente)</i> I. VALIDO PARA 1-2 ZONAS <input type="checkbox"/> 1 3 ZONAS <input type="checkbox"/> 2 No Sabe <input type="checkbox"/> 3	J. ¿CUÁNTO PAGÓ UD. POR EL PASAJE? <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> K. ¿COMPRÓ UD. EL PASAJE AQUÍ? Si <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2
	C. ¿CUÁNDO LLEGÓ UD. A SU DESTINO? <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>				

Ilustración 2-2 Formulario levantamiento información de viaje - encuesta O/D

Fuente: Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte (SECTRA)⁶.

En los últimos años, a partir de la introducción de encuestas telefónicas, muchas encuestadoras han optado por realizar encuestas de origen y destino por medio de call center con plataformas CATI (Computer Assistant Telephonique Interview), que permite gestionar automáticamente el sistema de llamadas y recoger directamente la información en soporte magnético. Estos sistemas permiten limitar los errores que se producen en la recolección de información, identificando por ejemplo si el tiempo de

⁶ (Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones (SECTRA - CHILE))



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

viaje tiene una correspondencia lógica con el origen y el destino, o por ejemplo si la intersección indicada por el entrevistado existe o no. Con este tipo de herramientas las encuestas proveen información más precisa y se limita el número de errores. Por otra parte el costo de las encuestas realizadas por este medio tiene a ser menor que el de las encuestas realizadas en el domicilio físicamente.

2.1.3.3 Estudio de ocupación visual

<p><i>Objetivo(s)</i></p>	<p>- <i>Determinar el número de ocupantes en los buses de transporte público y vehículos privados que influyen en el corredor.</i></p>
<p>Datos de entrada</p>	<p>- Base de datos de ocupación visual en al menos 10 puntos a lo largo del corredor</p>
<p>Resultado(s)</p>	<p>- <i>El número de usuarios del transporte público de las rutas que transitan por el área de estudio</i></p>

La observación respectiva se deberá realizar entre las 05H00 y las 22H00 en dos días hábiles. Es muy importante analizar que los días en los cuales se levanten los datos correspondan a días típicos. Es decir que estos días representen días normales, ya que



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

en ciertas fechas el tráfico se ve afectado por eventos externos por ejemplo feriados, manifestaciones, entre otros.

2.1.4 Estudio de tráfico

Objetivo(s)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Conteos automáticos y manuales de tráfico a lo largo del corredor.</i>
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none">- <i>Flujos vehiculares clasificados, se deberá tomar la hora pico de un día típico para poder realizar el análisis de forma adecuada.</i>
Resultado(s)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Condiciones actuales de tráfico y niveles de servicio de intersecciones y tramos principales</i>

Por otra parte es recomendable considerar la recopilación de datos sobre el tránsito en el corredor de estudio, ya que al implantar el sistema se generarán cambios en los flujos vehiculares y peatonales que deben ser considerados.

Para esto es necesario levantar la siguiente información:

- Secciones típicas del corredor en estudio y las intersecciones correspondientes



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Secciones típicas de las vías transversales con una extensión de 300 metros a partir del eje del corredor en propuesto para el estudio.
- Levantamiento de flujos y giros en intersecciones para recomendar soluciones de tráfico adecuadas.

Por otra parte será necesario realizar conteos automáticos de tráfico durante siete días de la semana las 24 horas de día y conteos manuales clasificados en intervalos de 15 minutos, en los puntos de mayor conflictividad, tal como intersecciones, y puntos que el sistema en los cuales el sistema realice cambios para determinar las medidas de tráfico necesarias para mitigar los impactos.

2.1.5 Zonificación

Objetivo(s)	- <i>Establecer una zonificación del área de estudio.</i>
Datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Zonas y sectores censales</i> - <i>Red vial</i> - <i>Cartografía general</i>
Resultado(s)	- <i>Zonificación detallada de la zona de estudio en áreas que permiten asignar viajes a zonas de origen y destino.</i>



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La zonificación del área de estudio debe ser realizada en función de la potencial demanda de viajes y servirá para identificar la generación y atracción de viajes por sectores. Es recomendable generar zonas más pequeñas en las áreas que requieren un análisis más fino de la demanda. De esta forma los sectores más alejados de la zona de estudio tendrán zonas con mayor extensión y las más cercanas zonas más pequeñas.

En la siguiente ilustración se muestra una parte de la zonificación utilizada en los estudios realizados para la primera línea de metro de Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias



Ilustración 2-3 Zonificación del centro norte de Quito

Fuente y elaboración: Estudios de la primera línea del metro de Quito – Secretaría de Movilidad

Con los estudios anteriores se pueden realizar las dos primeras etapas del modelo de demanda (modelo de 4 etapas): generación de viajes y la distribución.

La etapa de generación de viajes determina los orígenes y destinos de los viajes por zona y por propósito (por ejemplo: trabajo, estudio, etc.). En este proceso es importante incluir funciones el uso de suelo y la demografía, entre otros.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La etapa de distribución de viajes relaciona los orígenes con los destinos, en general utilizando el modelo gravitacional.

La tercera etapa que corresponde a la elección modal, considera la cantidad de viajes que utilizaran un modo de transporte particular. Sin embargo esta etapa en ciudades de países en desarrollo como Quito o Guayaquil por ejemplo no tiene la misma relevancia que en ciudades europeas o norteamericanas. Esto se debe a que en las ciudades menos desarrolladas, existe una gran cantidad de población cautiva del transporte público que no puede realizar una elección de modo y en general los nuevos sistemas de transporte no logran generar un cambio en la elección modal de las personas que tienen vehículo privado.

La cuarta etapa asigna los viajes a la red, por modo, es decir que establece cuando viajes se realizarán en transporte público por una ruta específica. En el siguiente acápite se analizará la asignación de cargas a la red de forma más precisa.

2.1.6 Asignación de cargas a la red

En esta etapa del modelo se busca asignar los viajes a la red por cada modo en estudio, nuestro caso se concentra sobre el transporte público. Para esto es necesario tomar algunas consideraciones, como atributos para identificar las rutas sobre las cuales se



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

asignarán los viajes, entre las más importantes se encuentran: mediciones de tiempos de viajes y mediciones de costos de viaje.

Para levantar esta información es muy importante haber realizado una encuesta de preferencias declaradas mediante la cual se establezca la disponibilidad al pago de los usuarios del transporte y su inclinación a cambiar de ruta en función de tiempo y del precio. Los modelos de forma general asumen que el viajero actúa de forma racional y escoge la ruta con menor costo total (tiempo y precio).

2.1.7 Consideraciones del diseño muestral

El diseño muestral debe tener dos importantes consideraciones, la primera es asegurar que la muestra sea representativa y la segunda como extraer conclusiones acertadas. El objetivo principal es obtener la cantidad de datos suficiente para realizar inferencias adecuadas acerca del comportamiento de los viajes.

El muestreo debe ser aleatorio y la metodología para la recolección de datos debe asegurar esto. Este muestreo aleatorio puede ser simple o estratificado, siendo el segundo una herramienta que aporta mayor precisión para los análisis posteriores.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La investigación también debe definir el error muestral aceptable y con este parámetro definir el tamaño de la muestra. Una muestra muy pequeña dará como resultado una alta variabilidad, mientras que una muestra demasiado grande significa asumir costos innecesarios en tiempo y personal.

El tamaño de la muestra depende de tres factores principales: la variabilidad de los parámetros investigados, el grado de precisión requerido y el tamaño de la población. En lo referente a sistemas de transporte, el tamaño de la población generalmente es alto, por lo que este factor no afecta significativamente el tamaño de la muestra. Existe amplia literatura estadística para el cálculo de la muestra y cada caso debe ser analizado con sus particularidades para establecer el método que provea los mejores resultados.

Entre la literatura más relevante sobre diseño muestral se encuentran los trabajos de Ortuzar y Willumsen, 1994. Las tablas que han desarrollado para determinar el tamaño de la muestra son las siguientes:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 2-2 Variación del tamaño muestral con los pasajeros por hora

N (pasajeros por hora)	n (pasajeros por hora)	n/N (%)
100	49	49.0
200	65	32.5
300	73	24.3
500	81	16.2
700	85	12.1
900	87	9.7
1.100	89	8.1

Fuente: Demanda de transporte, Ortuzar y Willumsen, 1994⁷

Tabla 2-3 Tamaño de la muestra en función del flujo horario

Flujo horario estimado (pasajeros/hora)	Tamaño muestral (%)
900 o más	10.0 (1 de cada 10)
700 a 899	12.5 (1 de cada 8)
500 a 699	16.6 (1 de cada 6)
300 a 499	25.0 (1 de cada 4)
200 a 299	33.3 (1 de cada 3)
0 a 199	50.0 (1 de cada 2)

⁷ (Wilumsen)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Fuente: Demanda de transporte, Ortuzar y Willumsen, 1994⁸

La ecuación utilizada para lograr estas tablas es la siguiente:

$$n \geq \frac{p(1-p)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2} + \frac{p(1-p)}{N}$$

Con un nivel de confianza del 95% y un error máximo del 10%

Donde:

n = número de pasajeros a encuestar

p = proporción de viajes a un destino determinado

e = nivel de error aceptable

z = variable normal estándar para el nivel de confianza requerido

N = tamaño de la población

El nivel de profundidad del estudio y la disponibilidad de recursos para lograr la recolección de datos tendrán una importante influencia al momento de calcular la muestra.

2.2 Metodología para proyección de la demanda futura

⁸ (Wilumsen)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La proyección de la demanda es uno de los temas más relevantes en el diseño de un sistema de transporte, ya que determina varias de sus características, por ejemplo dimensionamiento de paradas, dimensionamiento de flota, dimensionamiento de terminales de integración, tipo de vehículo, frecuencia, entre otros.

Los datos de campo recolectados en las investigaciones descritas en los acápites anteriores nos permitirán representar la demanda actual en el corredor, con un grado de confianza aceptable. Sin embargo las condiciones del sistema deben ser proyectadas de forma tal, que permitan un adecuado nivel de servicio durante la vida útil del proyecto. Por lo tanto la proyección de la demanda es un factor importante que debe ser considerado.

Como se explicó en los capítulos iniciales de este documento, la demanda de viajes es una demanda derivada de las actividades socio-económicas de las personas. Es así que se deben analizar las proyecciones socio económicas de la zona en la cual se implantará el sistema. En primer lugar se deben recopilar las proyecciones poblacionales, en nuestro caso el INEC tiene estadísticas de población de los censos 2001 y 2010, así como proyecciones a nivel de cantón y en ciertos casos parroquias hasta el 2020. Estas proyecciones deberán ser aplicadas a la zonificación creada para este análisis. De forma más precisa se podrá realizar un análisis de crecimiento poblacional por zona y por sector censal.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

De forma paralela se debe recolectar información de la planificación municipal para la zona, entre otros documentos como el plan de ordenamiento territorial, los proyectos a desarrollarse en la zona y todos los elementos que modifiquen sustancialmente el entorno del corredor. Entre los atractores y generadores más importantes de viajes se encuentran centros comerciales, colegios, universidades, instituciones públicas (ministerios, hospitales, etc.), conjuntos habitacionales de alta densidad, este tipo de proyectos deben ser considerados en las proyecciones de acuerdo a sus características particulares (metros cuadrados, cantidad de alumnos, etc.)

Con el análisis de estos elementos se podrá realizar una estimación del crecimiento de los viajes en el horizonte del proyecto y asignar un porcentaje de crecimiento a la demanda del sistema por zonas.

A continuación se muestran dos fotografías de sector de la av. 6 de Diciembre y Plaza Argentina, con una diferencia de 10 años, en la cual se puede observar el crecimiento que ha tenido.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias



Ilustración 2-4 Sector plaza Argentina, año 2003

Fuente: google earth



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

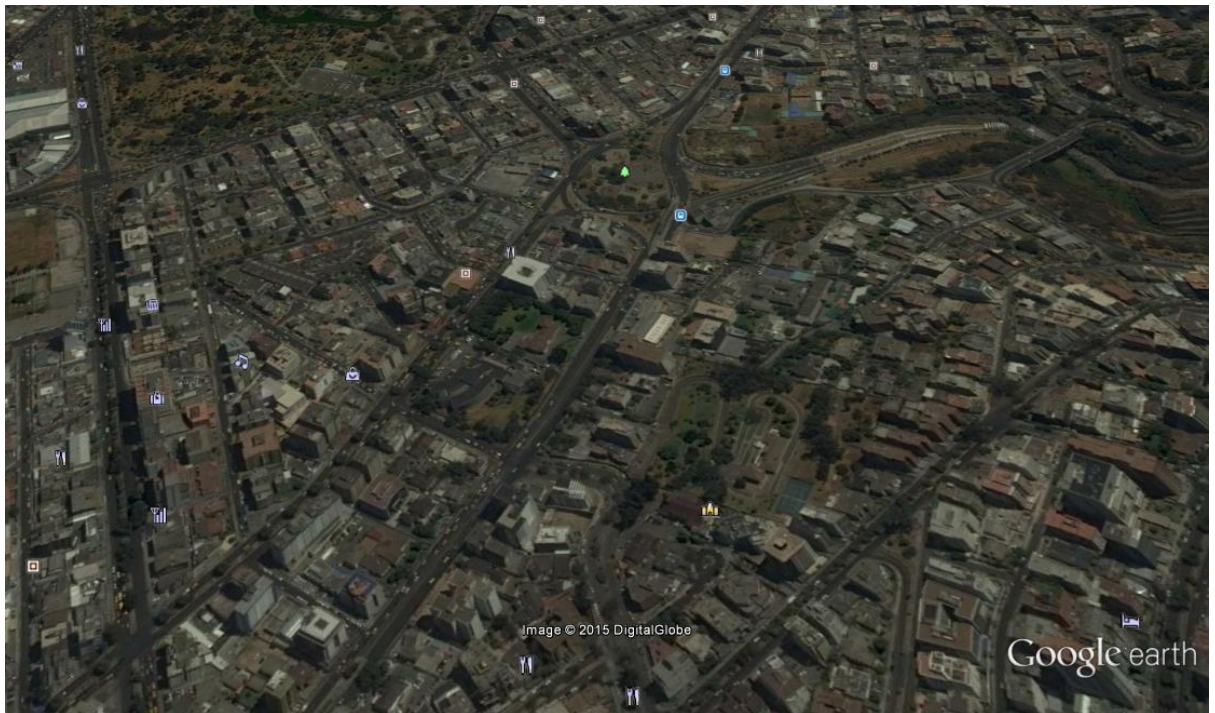


Ilustración 2-5 Sector plaza Argentina 2014

Fuente: google earth

Para ilustrar la evolución de la demanda se ha analizado el caso del sistema trolebús en Quito. A continuación se muestra las estadísticas de pasajeros transportados en este sistema por año.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 2-4 Pasajeros transportados por el sistema trolebús

ESTADÍSTICA DE PASAJEROS TRANSPORTADOS EN EL TROLEBÚS POR AÑO		
AÑO	TOTAL (INEC)	TOTAL (MUNICIPIO)
1997	53.358.936	
1998	59.428.012	
1999	54.358.836	
2000		61.244.908
2001		67.273.556
2002		62.529.764
2003		62.510.488
2004		70.390.580
2005		73.610.620
2006		74.012.888
2007		74.895.476
2008		77.828.904
2009		74.766.864
2010		74.735.264
2011		69.792.392
2012		71.746.533
2013		73.704.472

Fuente: Municipio de Quito

Elaboración: A&V Consultores – Propuesta para mejoramiento y ampliación del sistema trolebús.



3. Alternativas y características de modos de transporte público

Para este estudio se han identificado cuatro modos de transporte en los cuales se enfocará el análisis de capacidad, velocidad de operación, flexibilidad, tiempo de implantación, costos de inversión y costos de operación.

3.1 Características de los modos de transporte

En los siguientes acápite se analizarán las características de los modos de transporte en lo que se refiere a capacidad, velocidad de operación, flexibilidad, tiempo de implantación, costos de inversión y costos de operación.

3.1.1 Capacidad

Cada sistema de transporte público tiene características que determinan la cantidad de pasajeros que puede transportar. Para realizar comparaciones uniformes normalmente se utiliza el factor de “pasajeros hora / dirección” en cada sistema.

El análisis de capacidad comparativo entre modos de transporte ha sido realizado por diferentes autores. A continuación se presenta el cuadro elaborado por el Sr. Robert



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Cervero, (1998). The Transit Metropolis - A Global Inquiry correspondiente a la comparación de capacidades de sistemas de riel.

Tabla 3-1 Comparación de características de sistemas de riel

Comparison of Characteristics and Operating Standards of Types of Metropolitan Rail Systems ^[22]				
Characteristics	Tram/ Streetcar	Light Rail	Metro/ Heavy Rail	Commuter/ Suburban Rail
<u>Rail tracks</u>	<u>At grade</u> – in mixed traffic	Mixed – mostly <u>Grade separated</u>	Fully <u>Grade separated</u>	Mostly <u>Grade separated</u>
<u>Power supply</u>	<u>Overhead lines</u>	<u>Overhead lines</u> (or, rare: <u>DMU</u>)	<u>Third rail</u> <u>Fourth rail</u>	<u>Overhead lines</u> <u>Third rail</u> <u>Locomotive</u>
<u>Units per train</u>	1-2	2-6	Up to 10	Up to 12
Average speed (km/h)	10-20	30-40	30-40	45-65
Passengers per train	125-250	260-900	800-2,000	1,000-2,200
Maximum passengers per hour per direction	7,500	18,000	40,000	48,000

Fuente y elaboración: Robert Cervero - Wikipedia⁹

Es claro que el sistema de riel con mayor capacidad es el de trenes de cercanías con 48.000 pphd, seguidos de cerca por los sistemas de metro con 40.000 pphd. Si bien estos dos sistemas son muy similares, se puede atribuir la diferencia a la distancia

⁹ (Cervero, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

entre estaciones que los dos tienen. En el caso del metro la distancia entre estaciones es menor, por lo que debe realizar más paradas y esto disminuye su velocidad y por lo tanto su capacidad de transporte.

Los sistemas de riel ligero tienen tales como el tranvía o los trenes ligeros tienen una capacidad mucho menor, entre 7.500 pphd y 20.000 pphd respectivamente.

En el caso de los sistemas BRT el análisis de capacidad es más complejo, debido a la flexibilidad de los sistemas. Para este análisis se ha tomado la capacidad del sistema Transmilenio de Bogotá. En general se piensa que los sistemas de buses de tránsito rápido (BRT) tienen una capacidad de 10.000 a 14.000 pasajeros hora dirección, sin embargo Transmilenio ha logrado transportar a más de 45.000 pasajeros por hora y por dirección¹⁰. Esta capacidad es similar a la capacidad de los sistemas de tren analizados anteriormente. Esta capacidad ha sido lograda combinando la utilización de carriles de sobre paso y sistemas expresos en la operación.

Si realizamos un cálculo de la capacidad de un troncal del sistema Transmilenio con los siguientes datos: la capacidad del vehículo es de 160 pasajeros y una frecuencia de 3 unidades por minuto, es decir una cada veinte segundos (esta es una frecuencia factible considerando que para el ascenso y descenso de pasajeros se toman aproximadamente 15 segundos), obtenemos una capacidad de 28.800 pasajeros por

¹⁰ http://www.transmilenio.gov.co/sites/default/files/01-estudios_previos_parte_1-v0.pdf



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

hora y por dirección. Si a esta capacidad sumamos servicios expresos, es decir que solo hacen detenciones en las estaciones de transferencia con una frecuencia de treinta segundos, se obtiene una capacidad adicional de 19.200 pasajeros por hora y dirección. Al sumar las capacidades del servicio regular y el servicio expreso tenemos una capacidad total de 48.000 pasajeros por hora y dirección.

Al analizar la capacidad de los sistemas se debe identificar los factores que influyen en ampliación: los vehículos, las paradas y la operación. Para los sistemas de trenes no existe un posible incremento de capacidad por operaciones de rutas expresas, ya que implicaría la construcción de nuevos túneles y/o rieles, sin embargo para los sistemas BRT esto puede realizarse sin mayores inversiones, ya que los buses pueden realizar los circuitos expresos sin problemas.

En función de los factores establecidos anteriormente se ha calculado la siguiente capacidad teórica para un sistema BRT con intervalos de servicio de 60 segundos para servicios normales. Este análisis se realiza con el supuesto de utilizar vehículos bi-articulados de 260 pasajeros de capacidad:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 3-2 Capacidad por hora y por dirección, escenario 1

ESCENARIO 1	
Capacidad - vehículo bi-articulado	260
Intervalo	60 seg.
Capacidad servicios normales	15,600

Fuente y elaboración: propias

Para este escenario se toma el vehículo bi-articulado de 260 pasajeros y se considera un intervalo de 60 segundos, es decir que se despachan 60 buses por hora. Esto quiere decir que existe una capacidad de 15,600 pasajeros por hora y por dirección.

Tabla 3-3 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy

ESCENARIO CONVOY	
Capacidad - vehículo bi-articulado 1	260
Capacidad - vehículo bi-articulado 2	260
Intervalo del convoy	60 seg.
Capacidad servicios normales	31,200

Fuente y elaboración: propias

Para este escenario se toman dos vehículos bi-articulados de 260 pasajeros cada uno, es decir una capacidad total de 520 pasajeros en cada convoy y se considera un intervalo de 60 segundos, es decir que se despachan 60 buses por hora (es decir un



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

convoy de dos buses cada minuto). Esto quiere decir que existe una capacidad de 31,200 pasajeros por hora y por dirección.

Tabla 3-4 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy y expresos

ESCENARIO CONVOY Y EXPRESOS	
Capacidad - vehículo bi-articulado 1	260
Capacidad - vehículo bi-articulado 2	260
Intervalo del convoy	60 seg.
Capacidad servicios normales	31,200
Capacidad - vehículo bi-articulado	260
Intervalo de expresos	2 min.
Capacidad servicios normales	7,800
Capacidad total	39,000

Fuente y elaboración: propias

Para este escenario se toman dos vehículos bi-articulado de 260 pasajeros cada uno, es decir una capacidad total de 520 pasajeros en cada convoy y se considera un intervalo de 60 segundos, es decir que se despachan 60 buses por hora. Adicionalmente se incluyen servicios expresos cada dos minutos con una flota de 30



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

buses bi-articulados adicionales. Esto quiere decir que existe una capacidad total de 39.000 pasajeros por hora y por dirección.

En este escenario se utilizan convoyes de buses, por lo que es necesario contar con paradas para albergar a los dos vehículos al mismo tiempo y de esta forma duplicar la capacidad. Para esto se requiere un espacio aproximado de 100 metros de longitud (dependiendo de la configuración de la parada y el largo del bus). El largo del bi-articulado es de aproximadamente 25 metros, a esto se debe sumar el espacio de las rampas de acceso en las paradas, el hall de entrada, el área de pago, entre otras facilidades necesarias.

El tramo más cargado del sistema Transmilenio de Bogotá tiene aproximadamente 43.000 pasajeros por hora y por sentido de acuerdo al estudio realizado por Embarq y que se titula “Evaluación ex post sistema de transporte masivo Bogotá fase I y II”¹¹

A continuación se muestra la tabla de tramos más cargados de sistemas BRT elaborada por el estudio antes descrito:

¹¹ (Embarq)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

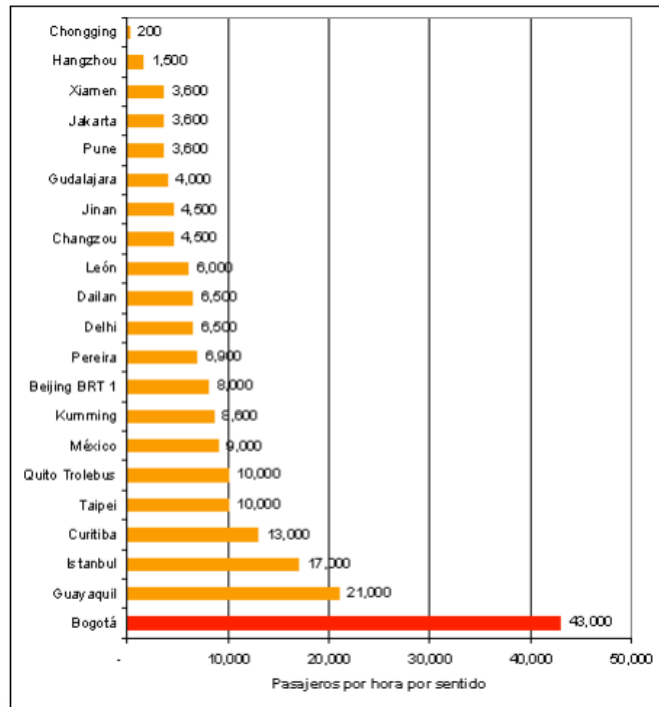


Ilustración 3-1 Pasajeros por hora y por dirección de sistemas BRT

Tramos más cargados de sistemas BRT

Fuente y elaboración: Embarq

Sin embargo también es posible realizar un convoy con tres buses bi-articulados, no existen restricciones para generar esta configuración, salvo el espacio disponible.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 3-5 Capacidad por hora y por dirección, escenario convoy y expresos

ESCENARIO CONVOY Y EXPRESOS	
Capacidad - vehículo bi-articulado 1	260
Capacidad - vehículo bi-articulado 2	260
Capacidad - vehículo bi-articulado 2	260
Intervalo del convoy	60 seg.
Capacidad servicios normales	46,800
Capacidad - vehículo bi-articulado expreso	260
Intervalo de expresos	2 min.
Capacidad servicios normales	7,800
Capacidad total	54,600

Fuente y elaboración: propias

En este ejercicio hemos obtenido una capacidad teórica de los sistemas BRT superior a la capacidad normalmente asignada a los sistemas de riel. El intervalo de 60 segundos es un intervalo que es susceptible de mejorar, considerando que el embarque y desembarque de pasajeros se realiza en aproximadamente 25 segundos. Por lo que teóricamente esta capacidad puede ser ampliada, sin embargo se requerirá la segregación completa de los carriles y la eliminación de intersecciones



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

semaforizadas, lo cual puede ser salvado con pasos inferiores o con viaductos como el del sistema Tiradentes en Brasil.

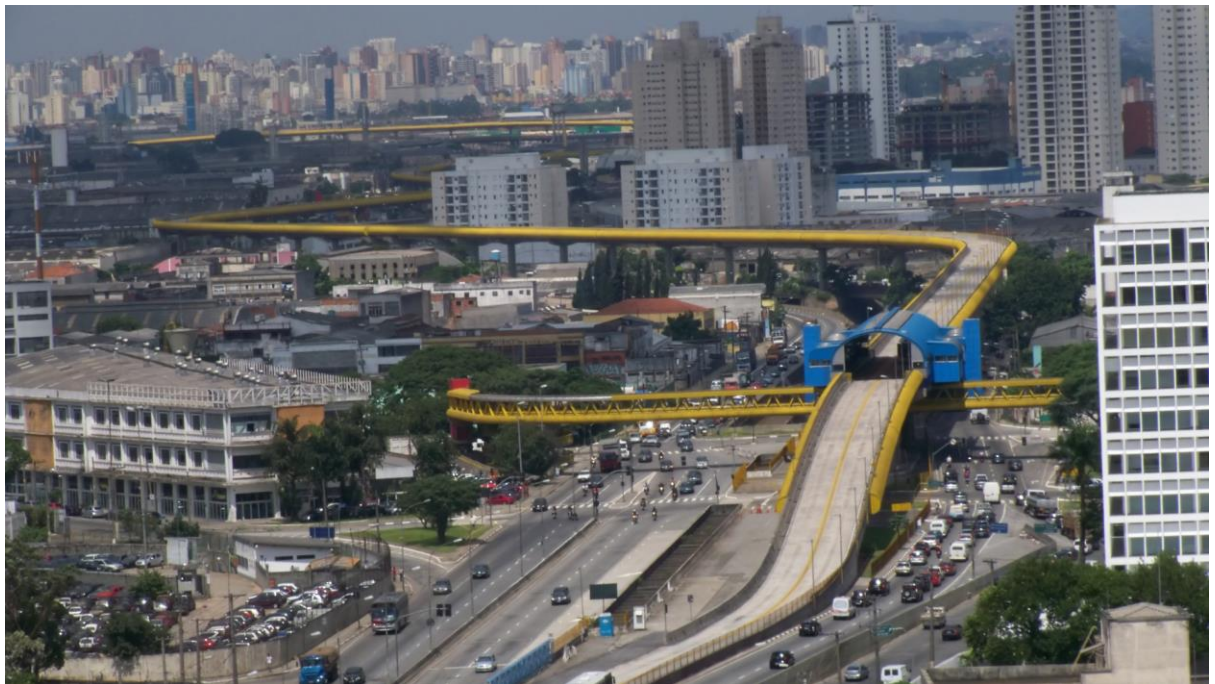


Ilustración 3-2 Sistema BRT Tiradentes, Sao Paulo – Brasil

Fuente: www.defense.pk

Al tener tres vehículos bi articulados, la capacidad de cada convoy es de 780 pasajeros, lo cual equivale a un tren de superficie. Sin embargo tiene la gran ventaja, esta es la flexibilidad de adaptarse a la demanda de periodos punta y periodos valle en con programaciones operacionales.

En el caso de los sistemas de riel con trenes pesados podemos realizar un ejercicio similar. Para este caso se ha analizado las tablas operacionales de los trenes



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

subterráneos de Nueva York¹², en la ruta de Harlem a Manhattan (Southbound). En este servicio la frecuencia en hora pico es de 5 minutos. Sin embargo cada tren puede llegar a tener hasta diez vagones con una capacidad de 245 pasajeros cada uno, es decir que un tren puede llevar 2.450 pasajeros. Al realizar el cálculo de la capacidad con esta frecuencia encontramos una capacidad máxima de 29.430 pasajeros por hora y dirección.

Si realizamos este cálculo con una frecuencia de dos minutos, la capacidad aumenta a 73.574 pasajeros por hora y por dirección. Esta frecuencia es bastante alta para un sistema de tren pesado, ya que por razones de seguridad, en especial el frenado en las estaciones, normalmente se utilizan intervalos más altos.

En este sentido se puede concluir que el sistema BRT tiene una limitación en la capacidad de los vehículos para transportar una mayor cantidad de pasajeros, pero el sistema de trenes tiene una limitación en la frecuencia en la que los trenes pueden operar por seguridad.

A continuación se muestran las capacidades de los sistemas descritos en la sección anterior.

¹² (NYC Transit, 2014)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

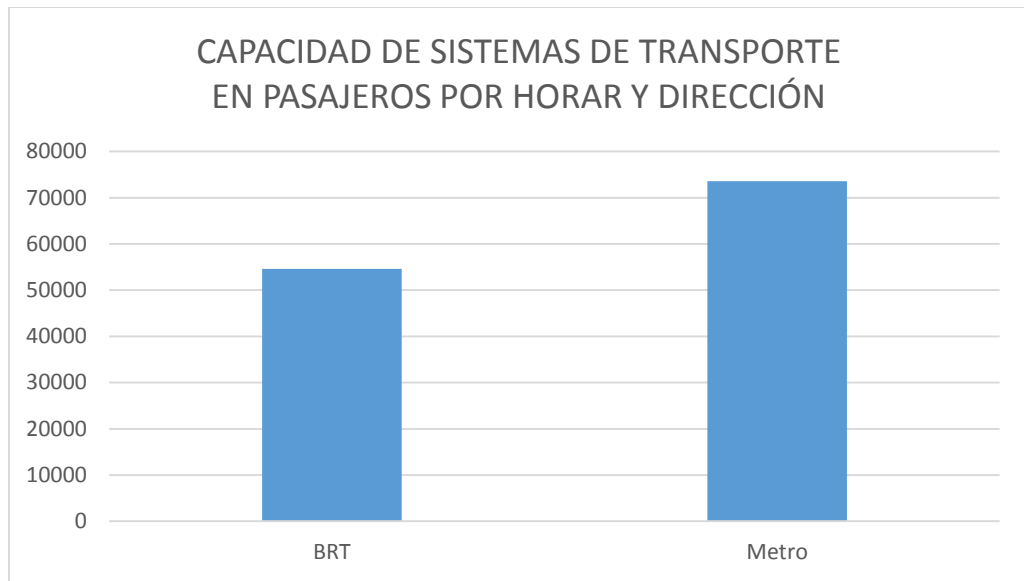


Ilustración 3-3 Comparación de capacidad el PPHPD entre BRT y Metro

Fuente y elaboración: propias

En los últimos años la capacidad de los buses ha incrementado de manera significativa, la empresa Mercedes-Benz ha introducido al mercado el nuevo bus súper articulado y empresas como Hess¹³ los buses y trolebuses bi-articulados. Estos vehículos superan los 250 pasajeros de capacidad.

¹³ (HESS, 2015)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias



Ilustración 3-4 Bus súper articulado de Mercedes-Benz

Fuente: Motor dream, Brasil ¹⁴



Ilustración 3-5 Trolebús bi-articulado de Hess

¹⁴ (Macário, 2012)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

Fuente: Hess¹⁵

Las características del vehículo que se muestra en la ilustración precedente son las siguientes¹⁶:

Modelo: lighTram3 (O2567)

Largo: 24.7m

Ancho: 2.55 m

Asientos: 68 (+2)

Capacidad: 200 (esta capacidad considera un estándar europeo de 5 personas por metro cuadrado. Al considerar el estándar latinoamericana de 7 pasajeros por metro cuadrado la capacidad llega a 280 pasajeros, para nuestro cálculo se utilizó 260 pasajeros)

Para el caso de Quito, se puede realizar el mismo ejercicio, utilizando como supuestos una flota de trolebuses bi-articulados y un intervalo de tiempo de sesenta segundos. En este caso la capacidad de transporte de pasajeros por hora y por dirección es de 15.600 pasajeros por hora y por dirección.

¹⁵ (HESS, 2015)

¹⁶ (HESS, 2015)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

3.1.2 Velocidad de operación

La velocidad de operación de los sistemas es variable y depende de varios factores, como la configuración de la red de paradas. Para ilustrar esto podemos indicar que un sistema de metro tiene paradas a una distancia promedio de 800 metros, mientras que un sistema BRT puede tener paradas cada 400 metros. Esto implica que a pesar que el material rodante circule exactamente a la misma velocidad en los dos sistemas, la velocidad de operación del BRT será menor, ya que deberá realizar un mayor número de detenciones en paradas.

El estudio de Embarq, que se citó en la sección de capacidades, también provee información sobre la velocidad de operación de los sistemas BRT. A continuación se presenta la tabla que corresponde a las velocidades de operación de diferentes sistemas BRT:



Velocidad Comercial en Sistemas BRT

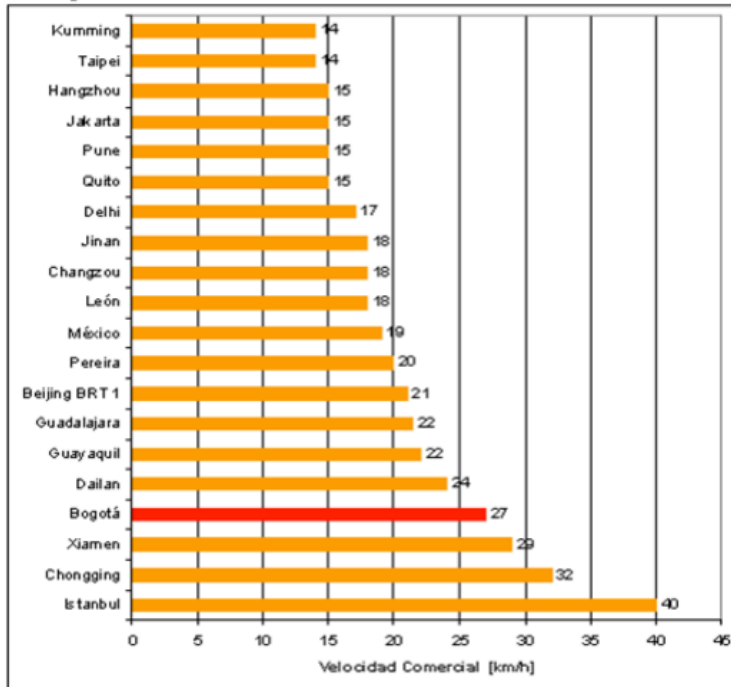


Ilustración 3-6 Velocidades comerciales de sistemas BRT

Fuente y elaboración: Embarq

Como se puede observar las velocidades comerciales de sistemas BRT tiene un rango bastante amplio, desde 14 km/h a 40 km/h. El sistema más rápido es el de Estambul, denominado “Metrobus” y transporte aproximadamente 800.000 pasajeros por día.

Es importante detenerse a analizar las características de este sistema. Es un sistema con un carril exclusivo, sin intersecciones y con pocas secciones para sobrepasos. Los intervalos de servicio son muy cortos como se muestra a continuación:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 3-6 Tabla de intervalos de servicio "Metrobus Estambul"

Section of Route	Avclar - Topkapı			Edirnekapı - Zincirlikuyu			Bosphorus Bridge - Söğütluçeşme		
	Weekday	Saturday	Sunday	Weekday	Saturday	Sunday	Weekday	Saturday	Sunday
Average headway (during busiest hour)	0:14	0:24	0:36	0:17	0:24	0:40	0:42	1:05	1:15
Average headway (between 1am to 6am)	2:00	2:51	6:00	4:17	2:51	6:00	8:34	6:40	6:40
Average headway (over 24 hours)	0:28	0:45	1:19	0:40	0:46	1:24	1:33	1:59	2:15
Number of Trips / Day	3,138	1,919	1,093	2,180	1,895	1,023	926	726	642

Times above shown as 'minutes:seconds'

Fuente y elaboración: wikipedia¹⁷



Ilustración 3-7 Metrobus Estambul

Fuente: wikipedia¹⁸

¹⁷ (wikipedia)

¹⁸ (wikipedia)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Como se puede ver en la ilustración precedente, este sistema ya utiliza convoyes de hasta 5 buses articulados y también cuenta con flotas de buses bi-articulados.

En un estudio realizado por el Profesor Ralph Gakenheimer del MIT se realiza un análisis sobre la velocidad de operación. Este análisis fue realizado para el Clean Air Institute, con énfasis en ciudades de Asia y presenta el siguiente cuadro de resumen de velocidad derivado de los estudios realizados:

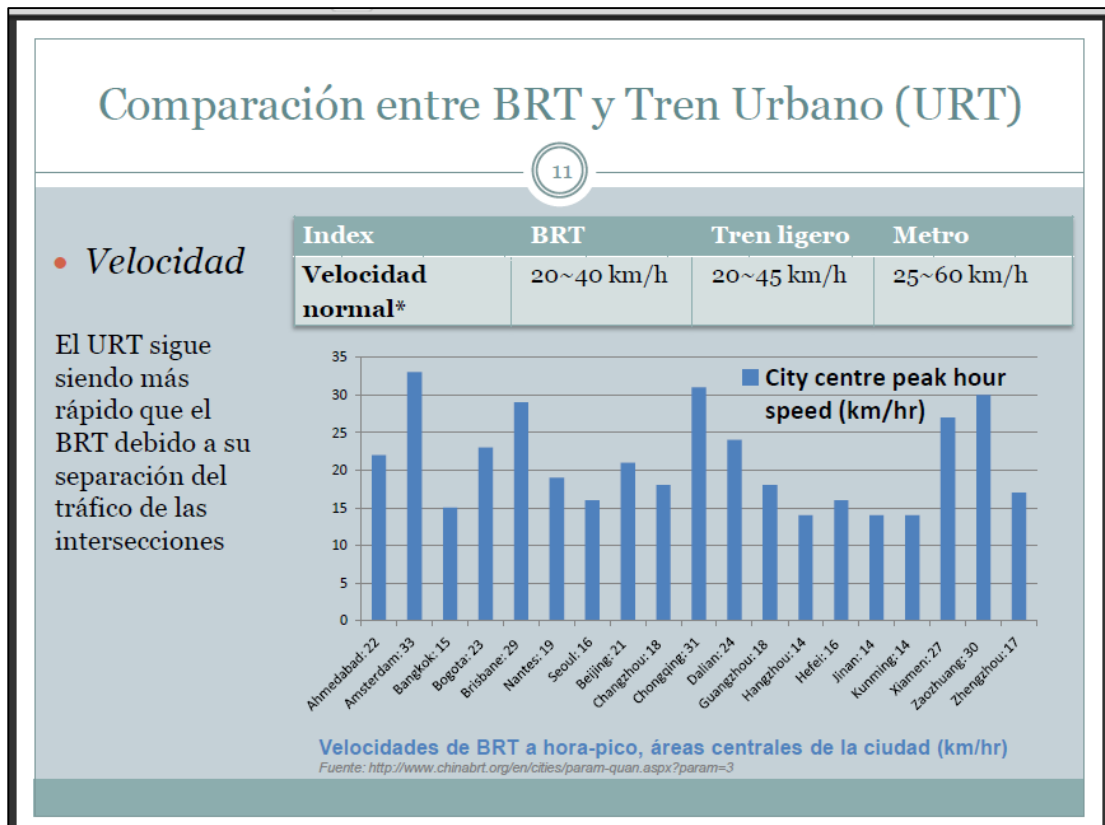


Ilustración 3-8 Comparación de velocidades entre BRT y tren urbano

Fuente: Gakenheimer, Ralp <http://www.chinabrt.org/en/cities/param-quan.aspx?param=3>



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Aquí se puede observar que el metro es el medio más rápido sobre la línea, es decir durante el recorrido. Esta información es consistente con los resultados de velocidades comerciales del informe de Embarq. Si tomamos los valores promedio mencionados en el cuadro se puede decir que las velocidades medias de los sistemas son:

- BRT 30 kph
- LTR 33 kph
- Metro 42 Kph

Estos valores son referenciales y provén una idea de las velocidades comerciales que se pueden alcanzar. Normalmente los sistemas BRT llegan a velocidades de 20 kilómetros en áreas urbanas cuando no hay sobrepaso ni servicios expresos, como fue el caso del trolebús de Quito en los años 90. Cuando existe sobrepaso y servicios expresos estos llegan hasta 30 kilómetros por hora, como es el caso del sistema Transmilenio. Sin embargo cuando se trata de áreas donde la distancia entre paradas es mayor a un kilómetro esta velocidad sube sobre los 40 kilómetros por hora. Por lo tanto la velocidad de operación depende, entre otros factores, de la distancia entre paradas, el nivel de segregación del carril y la presencia de intersecciones.

A continuación se puede observar la variación de las velocidades para diferentes sistemas. El metro de Sao Paulo en las líneas más cargadas llega nada más que a 30 kilómetros por hora de velocidad comercial, mientras que el BRT de Bogotá llega a 26



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

kilómetros por hora. Si a esto se añade tiempos de recorrido a pie y tiempos de espera en las paradas o estaciones, los tiempos de viaje so muy competitivos.

Se puede sacar como conclusión que las velocidades comerciales de los diferentes sistemas masivos pueden ser similares dependiendo de las condiciones de cada proyecto. Así un sistema BRT puede tener mayor velocidad que un LRT o que un metro. Los elementos más influyentes son la distancia entre estaciones y las características de la vía (nivel de segregación).

3.1.3 Flexibilidad

En esta sección se analiza la flexibilidad de los sistemas de transporte en estudio. La flexibilidad de un sistema de transporte se puede definir como su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Para nuestro análisis se realizará la comparación en adaptabilidad a la variación en la demanda y en el itinerario de operación.

En lo que se refiere a la demanda, esta varía de manera significativa a lo largo del día. También sufre variaciones en diferentes periodos del año, por ejemplo en verano cuando los estudiantes están de vacaciones existe una disminución en la cantidad de viajes que se realizan en la ciudad. En Quito la hora pico de la demanda para transporte público se encuentra entre las 06h30 y las 07h30.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tanto el sistema BRT como los sistemas de riel utilizan los intervalos de servicio para responder a cambios en la demanda. Es decir que en horas pico utilizarán intervalos más cortos, por ejemplo 3 minutos entre la salida de cada vehículo y en horas valle intervalos más largos, por ejemplo de 5 minutos entre cada salida.

La diferencia entre los sistemas BRT y los sistemas de riel radica en que el sistema de riel debe ceñirse a los intervalos específicos desde el inicio de la ruta hasta su punto de retorno. Los sistemas BRT pueden generar circuitos operacionales que atiendan tramos más cargados, generando diferentes intervalos a lo largo de una misma ruta. Este es el caso en el trole de Quito, que cuenta con varios circuitos operacionales que responden a la variación de la demanda en diferentes tramos de la línea. A continuación se presentan los circuitos operacionales del trole:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Circuitos y Horarios

Circuitos	Quitumbe	Moran Valverde	El Recreo	Santo Domingo	El Ejido	La Colon	La Y	Carcelén	Horarios	
									Lunes - Viernes	Feriados
C1			←→						06h00-24h00 (2-3min)	06h00-22h00 (3-4min)
C2		←→							06h20-10h19 (5min)	No Opera
C2-Q	←→								16h00-20h14 (5min)	No Opera
C3			←→						06h15-20h07 11h20-15h07 (12min)	No Opera
C4	←→								05h16-20h07 (6-8min)	06h00-18h51 (6-8min)
C5	←→								06h15-08h12 12h10-20h37 (10min)	No Opera
C Q R	←→								09h00-23h40 (8min)	06h05-21h40 (8min)
24 HORAS	←→								24h00-06h00 (60min)	22h00-06h00 (60min)
EXPRESO ESCOLAR		De Sur a Norte	←→					De Norte a Sur	06h15, 13h15 06h25, 13h30 06h40, 13h45	No Opera
EXPRESO LA Y - EL RECREO			←→						06h26-08h25 15h20-20h00 (12/15min)	No Opera

Ilustración 3-9 Circuitos y horarios, trolebús de Quito

Fuente y elaboración: Empresa de pasajeros de Quito

Los sistemas de riel no permiten la incorporación de circuitos dentro de una misma línea, ya que requieren la generación de infraestructura adicional, como nuevos rieles, túneles, entre otros. En estos casos si un tramo de la línea tiene una gran demanda, los intervalos de servicio responderán a ese requerimiento y en los tramos con menos demanda se tendrá una “sobre oferta” de espacio, con los consecuentes incrementos en costos.

Los sistemas BRT también difieren de los sistemas de riel ya que no requieren de rieles para realizar su operación, por lo que pueden variar sus itinerarios en función de requerimientos puntuales. Los sistemas de riel están confinados a circular por la línea que tiene el riel y no pueden desviarse.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En ocasiones es necesario realizar adecuaciones en vías o infraestructura de la ciudad que requiere interrumpir los itinerarios de los servicios de transporte público, por ejemplo la construcción redes de agua potable o alcantarillado. Los sistemas BRT pueden modificar sus itinerarios y realizar desvíos para no interrumpir su servicio, los sistemas de riel por el contrario deberán limitar su operación hasta que puedan nuevamente utilizar la línea planificada, ya que sus costos de desvío son muy altos.

De acuerdo con las consideraciones anteriores sistema más flexible es el BRT, seguido del riel ligero y el sistema menos flexible es el de riel pesado ya sea subterráneo o en superficie.

3.1.4 Tiempo de implantación

El tiempo de implantación de un sistema consiste en el tiempo que requiere para la realización de estudios y obras de infraestructura hasta el día que inician su operación. Si tomamos como ejemplo la ciudad de Guayaquil, su sistema BRT (Metrovía) se compone de tres troncales, que han sido implantadas en promedio cada dos años. En el caso de Quito, la planificación del sistema trolebús inició en 1992 y fue inaugurado a inicios de 1995, en el caso de la ecovía su planificación inició en 1998 y se inauguró a inicios del año 2000.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Los sistemas de riel por sus características requieren un mayor tiempo de planificación y construcción. En especial los sistemas de riel subterráneos requieren estudios más complejos y los procesos constructivos toman más tiempo. Por ejemplo el metro de panamá inició su planificación en el año 2009, su construcción en febrero del 2011 y su primera línea fue terminada en abril del 2014.

El estudio del Dr. Robert Cervero de la Universidad de California¹⁹ ha establecido los siguientes rangos para la implantación de proyectos de transporte masivo:

Tabla 3-7 Tiempos de implantación para sistemas de transporte

BRT	Riel ligero	Riel pesado
1- 2 años	2 – 3 años	4 a 10 años

Fuente: Dr. Robert Cervero

Elaboración: propia

Es importante indicar que los sistemas de riel pesado requieren importantes niveles de inversión y en varios casos estos requerimientos financieros han generado problemas para el cumplimiento de los cronogramas planificados. Este es el caso del metro elevado de la ciudad de Medellín o el proyecto de metro de la ciudad de Lima.

¹⁹ (Cerver, 2013)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

3.1.5 Costos de inversión

En primer lugar analizaremos los costos de inversión de los sistemas de metro. Para este fin se ha recopilado información de cuatro proyectos cercanos a nuestra realidad y con características constructivas similares.

3.1.5.1 Costos de inversión para sistemas de riel (metros)

El análisis de los costos de inversión de un sistema de transporte debe considerar las variables particulares de cada proyecto. Es decir que un sistema de riel pesado subterráneo, tendrá costos diferentes a uno de superficie o uno elevado por ejemplo. Es así que cada proyecto generará costos de inversión diferentes, sin embargo es importante analizar el rango en el cual se agrupan la mayoría de los proyectos que utilizan este modo de transporte. Para esto se ha realizado un análisis de los proyectos de riel pesado más recientes en Latinoamérica.

Metro de Lima

El sistema de transporte de Lima inició el proyecto del metro tiene previsto tener 35 kilómetros de vías subterráneas y 8 kilómetros en superficie. Están planificadas 35



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

estaciones con andenes de 150 metros de largo. El inicio de su construcción está previsto para finales del 2014.

El presupuesto total para este proyecto es de \$5.658 millones de dólares, para una longitud total de 43 kilómetros. Por lo tanto se deduce que el costo por kilómetro es de 131 millones de dólares²⁰.

Metro de Panamá

El metro de pana inició su construcción en febrero del 2011 y su primera línea fue terminada en abril del 2014. Tiene una longitud de 13,7 kilómetros y cuenta con 15 estaciones (8 subterráneas y 7 elevadas), con andenes de 100 metros de longitud. Este sistema, que atraviesa la ciudad de Panamá de forma subterránea, tuvo un costo de \$1.880 millones de dólares, equivalente a 137 millones por kilómetro. Sin embargo el costo presupuestado inicialmente fue de \$1.452 millones de dólares, es decir que durante la ejecución del proyecto existió un incremento del 30% aproximadamente²¹.

²⁰ (Peru21, n.d.)

²¹ (Metro de Panama, 2014)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias



Ilustración 3-10 Locomotora del metro de Panamá

Fuente: Wikipedia.

Metro de Medellín

Este es un metro elevado que no utiliza túneles y tiene una longitud de 34.5 km. Su costo total ascendió a \$2.174 millones (terminado en 1995)

El costo por km es de \$63 millones de dólares a precios de 1995. Los costos generados por este proyecto obligaron a establecer una sobretasa a la gasolina y un impuesto al cigarrillo en Antioquia para pagar la deuda²².

Para ilustrar las cifras descritas en los párrafos anteriores, a continuación se presenta un cuadro de resumen:

²² (Wikipedia, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 3-8 Cuadro comparativo de costos y longitudes de sistemas de riel pesado

	Costo	Longitud	Costo / km
Metro de Lima	5,658.0	43.0	131.6
Metro de Panamá	1880	13.7	137.2
Metro de Medellín	2174	34.5	63.0
Costo promedio por km			110.6

Elaboración: propia

En el siguiente cuadro, que presenta el Prof. Ralph Gakenheimer del Massachusetts Institute of Technology (MIT), en su investigación sobre sistemas de transporte masivo, se puede ver que el metro subterráneo, ha tenido costos que fluctúan entre \$120 y \$180 millones por km. Esta información es consistente con el costo de la reciente adjudicación que se realizó para el metro de Lima.



Tabla 3-9 Tabla comparativa de características de los sistemas de transporte

Comparación entre BRT y Metro

9

Index	BRT	Tren Ligero (LRT)	Metro
Característica	Carriles confinados o carriles de tráfico mixto	Carriles confinados o carriles de tráfico mixto	Carril confinado
Distancia entre estaciones	350~800 metros	350~800 metros	500~2000 metros
Capacidad por vehículo	40~120 p	110~250 p	140~280 p
Velocidad normal*	20~40 km/h	20~45 km/h	25~60 km/h
Seguridad	Alta	Alta	Muy alta
Costo de construcción por km*	\$ 6~15 Millones	\$ 12~34 Millones	\$ 120~180 Millones
Población mínima en la ciudad - Criterio de autorización del Gobierno Chino	750,000	1,000,000	2,000,000
Población mínima en el centro de la ciudad	400,000	500,000	700,000

Fuente: Lei Chen, The research on the application of Bus Rapid Transit in big cities of our country, 2006

3.1.6 Costos de operación

A continuación se presentan los costos de operación con valores aproximados para los diferentes sistemas en estudio.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

3.1.6.1 Costos de operación de sistemas de riel pesado (metro)

A continuación se muestra la tabla comparativa de los sistemas BRT y los sistemas de riel liviano y pesado elaborada por el Dr. Robert Cervero de la Universidad de California²³

En esta tabla se muestran los resultados compilados de la investigación, son especialmente útiles los costos de operación descritos en la última fila. Claramente los costos de operación de los sistemas de riel son superiores a los del BRT, en el caso de los sistemas de riel livianos los costos de operación son más del doble y en el caso de los sistemas de riel pesado el incremento llega al 80%.

²³ (Cerver, 2013)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 3-10 Tabla comparativa de sistemas de riel y sistemas BRT

	BRT	Urban Rail Transit	
		Light Rail	Metro rail
Rights-of-Way	Mixed: shared (at-grade); dedicated and exclusive lanes	Exclusive (elevated or barriers) or shared (at-grade)	Exclusive, grade-separated
Running Ways	Pavement; roadways	Steel Track	Steel Track
Vehicle Propulsion	Internal Combustion Engine	Electric (overhead wires)	Electric (high-voltage third rail)
Vehicle Control	Operator/Visual	Automated/Sign Control	Automated/Sign Control
Construction Time	1-2 Years	2-3 Years	4-10 Years
Maximum Capacity (passengers/vehicle unit)	160-270	170-280	240-320
Maximum Capacity (passengers/coupled unit)	160-270	500-900	1000-2400
Minimum headway (seconds)	12-30	75-150	120-150
Line Capacity (passengers/direction/hour)	5000 - 45000	12000 – 27000	40000 - 72000
Maximum Speed (kph)	60-70	60-80	70-100
Average Capital Costs¹ (2000 US\$/km)	8.4	21.5	104.5
Average Operating Cost¹ (2000 US\$ per vehicle revenue km)	2.94	7.58	5.30
Notes			
1. Costs figures are for US case studies. Costs adjusted to \$2000, calculated using Consumer Price Index average.			
Sources: Levinson et al., (2003); Vuchic (2005); Hensher and Golob (2008); Zhang (2009); Deng and Nelson (2011)			

Fuente: F. Cervero -2013, Berkley



4. Evaluación y selección del sistema: caso de estudio

La gran variedad de características técnicas, operacionales y financieras que tiene los diferentes sistemas de transporte hacen que su análisis sea una tarea compleja y delicada. Factores adicionales como la propiedad del material rodante, medios de pago, sistemas de recaudo, relaciones entre viajes en vehículos privados y transporte público hace que las relaciones entre los diferentes modos de transporte sean aún más complejas. Sin embargo, ninguna política de planificación de transporte debe ser aplicada sin una comprensión profunda de las características de los modos de transporte.

Para el caso de estudio se ha seleccionado a la ciudad de Quito y la potencial implantación de un sistema masivo en el sector norte, específicamente desde el Labrador hasta Carapungo. A la fecha, este proyecto se encuentra en estudio por parte de la Municipalidad.

En el caso de Quito los requerimientos de transporte cambiaron a medida en que la Ciudad evolucionaba de un asentamiento disperso y de baja densidad a uno de densidades medias con importantes volúmenes de viajes concentrados en ciertos corredores. Para el análisis se considerará el rango de requerimientos de forma global y los potenciales modos por medio del espectro de capacidad y costo de forma sistemática.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4.1 Características urbanas

TRANSPORTE PÚBLICO

A continuación se describen las características urbanas de la ciudad de Quito, que influyen en la planificación de un sistema de transporte.

La ciudad de Quito se encuentra a 2.850 metros sobre el nivel del mar y tiene un área urbana aproximada de 372 kilómetros cuadrados. El área urbana de la capital se extiende por 45 kilómetros entre Guamaní en la parte sur y San Antonio de Pichincha en el norte. En su sección más estrecha, de este a oeste, tiene un ancho de 1.7 kilómetros (a la altura de la calle Carchi). En su sección más ancha alcanza 6.9 km (a la altura de la av. Tufiño).

La topografía tiene grandes variaciones, existen pendientes muy importantes tanto en las faldas del Pichincha y en centro histórico, así como secciones más regulares como el sector de La Carolina o la planicie de Carapungo y Calderón en el norte.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

El crecimiento de Quito en términos absolutos es importante, El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con 2'239.191 habitantes²⁴ y de hecho las proyecciones muestran que en el futuro la ciudad pasará a ser la más poblada del país.

El crecimiento más pronunciado se da en los sectores aledaños a los actuales centros urbanos, por lo que la demanda de transporte sobre las líneas actuales de transporte público, no mantiene la misma tendencia de crecimiento en el tiempo. Por ejemplo, la demanda hacia y desde el Centro Histórico probablemente no crecerá debido al impedimento de nuevas construcciones en esta zona. Por otra parte, el crecimiento en los valles (Cumbayá, Tumbaco, Los Chillos), así como en los sectores de Calderón, Carapungo, Mitad del Mundo y Amaguaña será importante y por lo tanto la demanda medios de transporte de mayor capacidad.

En la Ciudad se encuentran en operación dos sistemas públicos de transporte colectivo: Las cuatro troncales integradas de transporte público y el transporte público convencional que sirve al resto de la demanda a través de 132 rutas.

Las troncales constituyen los ejes de mayor capacidad de transporte: sistema integrado Trolebús, Ecovía, Corredor Central Norte y corredor sur occidental, este último servido por buses convencionales “tipo”, mientras que las otras troncales tienen buses articulados o trolebuses articulados.

²⁴ Censo – INEC 2010



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

En el siguiente cuadro se muestran la cantidad de unidades que operan como transporte público:

Tabla 4-1 Distribución de la oferta de transporte público sin transporte escolar - 2014

Tipo de Unidad	Unidades	Servicios	%
Subsistema Convencional			
Buses Convencionales	1.542	Urbanos	61%
	379*	Inter e Intraparroquiales	
	1.921		
Subsistema BRT - Corredores Metrobús-Q			
Buses Alimentadores	70	Central-Trolebús	29%
	130	Sur Oriental-Ecovía	
	400	Central Norte	
	301**	Sur Occidental	
	901		
Trolebuses y Buses articulados	113	Central-Trolebús	10%
	122	Sur Oriental-Ecovía	
	74	Central Norte	
	309		
Total	3.131		100%

(*) De los 379 inter e intraparroquiales, 52 unidades son microbuses.

(**) Esta flota incluye a 52 minibuses con capacidad promedio de 30 pasajeros

Fuente y elaboración: Secretaría de Movilidad – Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Si bien las troncales, representadas por los trolebuses y buses articulados solo cuentan con un 10% de la flota total de unidades de transporte público, gracias a su diseño y capacidad, transportan aproximadamente 1'000.000 de pasajeros por día, es decir el 35% de la demanda. De ahí la importancia de la planificación, operación y expansión de estas troncales como ejes prioritarios de movilidad urbana.

En el cuadro número 2-2 y en la ilustración 2-1, se puede observar el número de viajes diarios en los diferentes modos de transporte y se puede observar que el transporte público convencional tiene el mayor porcentaje de viajes (35%), seguido del transporte privado (16%), transporte masivo y taxis (15%), transporte interparroquial (11%) y finalmente el transporte escolar (8%).



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 4-2 Viajes diarios en los diferentes modos de transporte en el DMQ 2011

Viajes en el DMQ		
Transporte masivo	15%	622.000
Buses convencionales	35%	1.500.000
Buses inter-parroquiales	11%	480.000
Taxi	15%	650.000
Escolares	8%	326.000
Transporte privado	16%	700.000
TOTAL	100%	4.278.000

Fuente: Estudios para el diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de Quito factibilidad de la primera línea del metro de Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

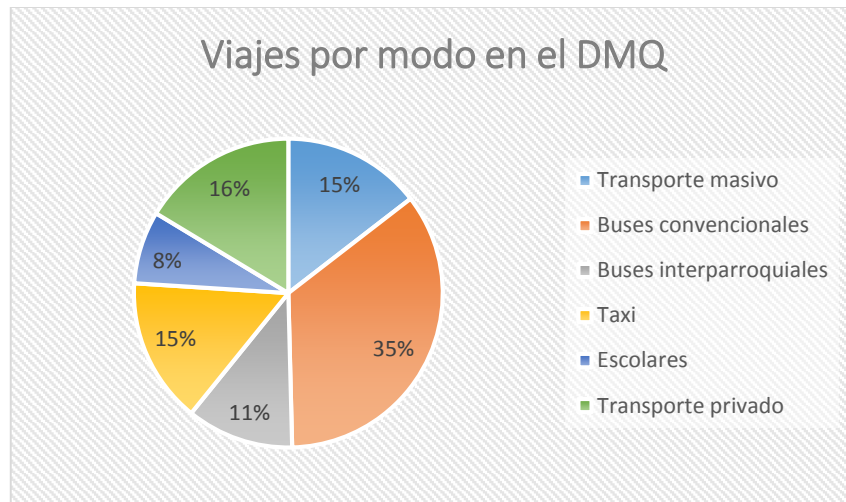


Ilustración 4-1 Viajes por modo de transporte en el DMQ

Fuente: Estudios para el diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de Quito y factibilidad de la primera línea del metro de Quito.

En las siguientes ilustraciones se pueden observar los viajes en transporte público colectivo.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Viajes en transporte público colectivo		
Transporte masivo	24%	622.000
Buses convencionales	58%	1.500.000
Buses inter-parroquiales	18%	480.000
TOTAL	100%	2.602.000

Ilustración 4-2 Viajes en transporte público colectivo

Fuente: Estudios para el diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de Quito y factibilidad de la primera línea del metro de Quito.

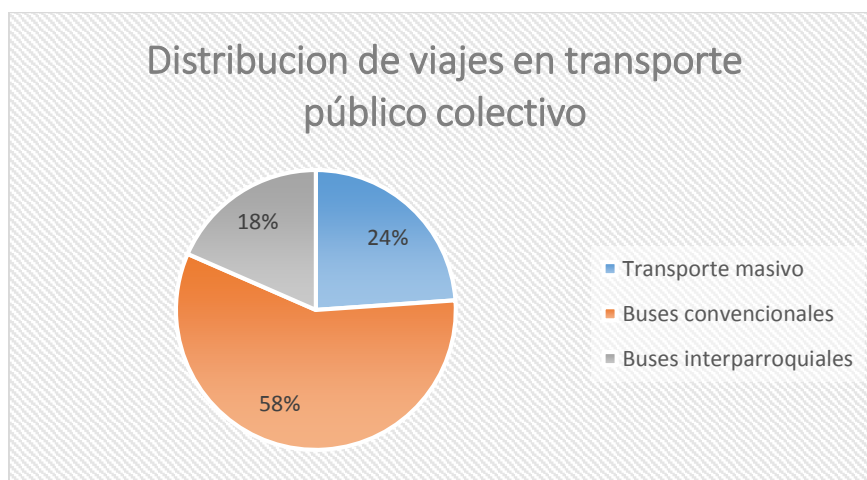


Ilustración 4-3 Distribución de viajes en transporte público colectivo

Fuente: Estudios para el diseño conceptual del sistema integrado de transporte masivo de Quito y factibilidad de la primera línea del metro de Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

El sistema de transporte por buses convencionales representa el 58% de los viajes en transporte público y un 18% de los viajes inter-parroquiales. Este sistema es prestado por operadores agrupados en cooperativas y comparten las vías con el tráfico normal de la ciudad. Las paradas en su mayoría están marcadas con señalización horizontal y pocas tienen facilidades adicionales (banca y techo).

Existe un marcado problema de irrespeto a las paradas, de parte de los buses y los usuarios. En general el bus se detiene donde el usuario lo solicita, generando conflictos de circulación y situaciones donde aumenta el riesgo para los usuarios. Uno de los factores que profundiza este problema es la recolección de la tarifa de forma manual en el bus. Esta recolección genera una competencia entre buses para “ganar” pasajeros.

VIALIDAD

Quito cuenta con aproximadamente 4.148 kilómetros de vías²⁵, de éstos, 1.645 Km equivalentes al 53% son asfaltados, 36% de adoquín, 8% empedrado y 3% de hormigón. La morfología de la ciudad ha generado un crecimiento intensivo de los sectores norte y sur durante los últimos diez años. El crecimiento se ha concentrado

²⁵ Fuente: <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/item/355-mejorar-la-vialidad-es-una-de-las-prioridades-en-quito?tmpl=component&print=1> – Estudio de la Universidad Central del Ecuador 2009 -2010



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

en el sector oriental de la ciudad, por lo que las nuevas soluciones viales han respondido a esta realidad (Túnel Guayasamín, ampliación de autopista General Rumiñahui Ruta Viva, Intercambiador de las bañistas en Cumbayá, Intercambiador de la Simón Bolívar en el sector de Calderón, Extensión de la Av. Simón Bolívar, etc.)

La infraestructura vial de la ciudad, cuya mayor parte fue construida hace décadas, se encuentra en un proceso de deterioro normal y requiere un mantenimiento mayor cada año. Se suma a esto el crecimiento poblacional de la Ciudad que demanda mayor accesibilidad a zonas cada vez más lejanas y de forma adicional el parque automotor aumenta cada año. Estos elementos crean una importante presión sobre la red vial e incentivan su crecimiento y ampliación.

La red vial tiene características muy variadas, que son producto de un crecimiento desordenado y una inadecuada planificación de la vialidad, entre otros factores. Si bien la ciudad cuenta con avenidas con una importante continuidad, también encontramos también avenidas y calles con cortes y secciones transversales que no ayudan a la circulación.

La Municipalidad, en los últimos años, ha venido realizando un importante trabajo en la jerarquización vial, sin embargo todavía no se ha logrado una real definición de vías expresas, arteriales, colectoras y locales. Este esquema fue planteado en el informe



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

“Traffic in Towns” de Colin Buchanan²⁶, el mismo que buscaba una jerarquización vial que permita un desarrollo organizado y aporte fluidez a la red. En general esta red cuenta con una capacidad importante pero en ciertas horas se ve severamente congestionada, en especial en las intersecciones de avenidas principales.

PARQUE AUTOMOTOR

El incremento del parque automotor y el uso intensivo del automóvil particular (en parte incentivado por el subsidio al combustible: diésel y gasolina y otras políticas nacionales) generan importantes externalidades negativas, tales como: contaminación de aire, contaminación por ruido, accidentes viales, congestión y ocupación de espacio público.

En las siguientes ilustraciones se puede observar la tasa de motorización y la evolución del parque automotor en Quito.

²⁶ (Buchanan, 1963)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

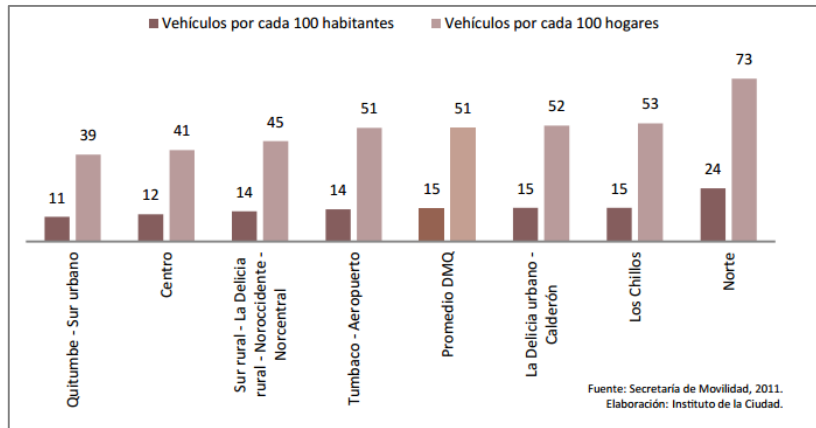


Ilustración 4-4 Tasa de Motorización por zona del Distrito Metropolitano de Quito

Fuente: Secretaría de Movilidad 2011 -

<http://institutodelaciudad.com.ec/attachments/article/149/boletin21.pdf>

Elaboración: Instituto de la Ciudad

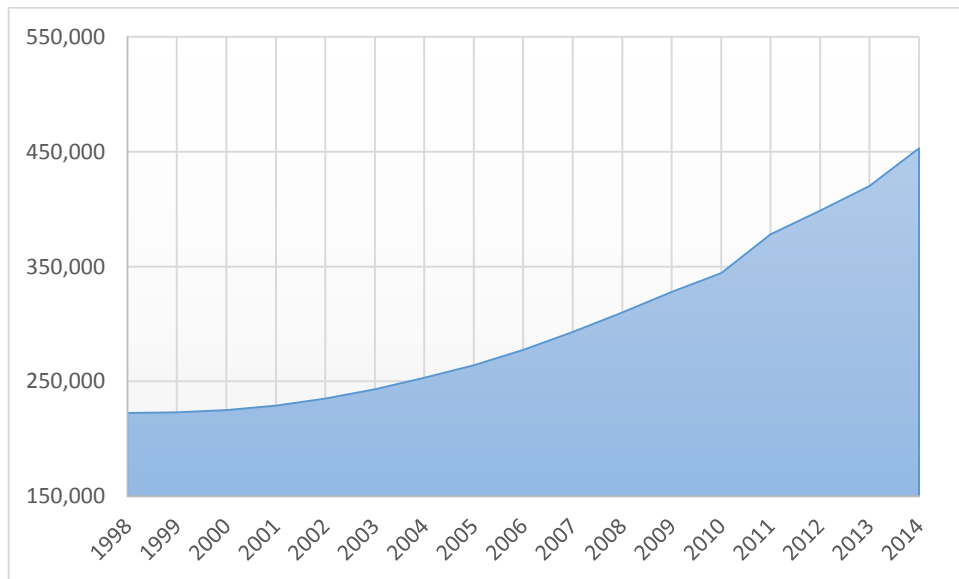


Ilustración 4-5 Parque automotor en el DMQ

Elaboración Sec. De Movilidad.

Fuente: Secretaría de Movilidad - AMT



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Esta última ilustración muestra una marcada tendencia creciente del parque automotor, sin embargo las proyecciones para los siguientes años deben ser analizadas considerando el contexto histórico y económico del país. Las proyecciones de crecimiento del parque automotor dependen en una importante proporción de la capacidad de compra de los consumidores y de la facilidad de desplazamiento del vehículo particular. Si se considera que estos dos factores no continuarán creciendo en las mismas proporciones, por ejemplo por la incidencia de la baja en los precios del petróleo (que representan aproximadamente un 30% del presupuesto nacional) es pertinente indicar que el crecimiento del parque automotor en se verá desacelerado.

Al analizar los datos del Plan Maestro de Movilidad de Quito (2009) se puede observar que la velocidad de circulación es de 19,9 km/h²⁷, sin embargo las estimaciones recientes de la Secretaría de Movilidad se encuentran en 14,1 km/h²⁸. Esta importante disminución responde al incremento del parque automotor y a su intensiva utilización.

²⁷ Plan Maestro de Movilidad para el DMQ - 2009

²⁸ Secretaría de Movilidad - 2014



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias



Ilustración 4-6 Av. Velasco Ibarra con dirección hacia el norte desde el intercambiador “El Trébol” en el período pico de la mañana.

Fuente: Secretaría de Movilidad

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio para este caso es el sector norte de la Ciudad de Quito, entre el Labrador y Carapungo. El Labrador es prácticamente el límite norte del denominado “híper-centro” de la ciudad, Carapungo se localiza en una planicie bastante extensa que facilita la urbanización.

En las parroquias de Carapungo y Calderón actualmente se asientan más de 160.000 habitantes que dependen en su mayoría del transporte público. Los residentes de esta



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

importante aglomeración tienen la necesidad de realizar una gran cantidad de viajes todos los días hacia el hiper-centro.

El Municipio de Quito contrató los estudios para el anteproyecto del corredor Labrador – Carapungo a finales del 2014. Estos estudios se encuentran en etapa de desarrollo y se ha solicitado a la consultora encargada algunos datos para ilustrar el caso de estudio que nos atañe.

A continuación se muestra el área de estudio del sistema:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
Juan Francisco Arias

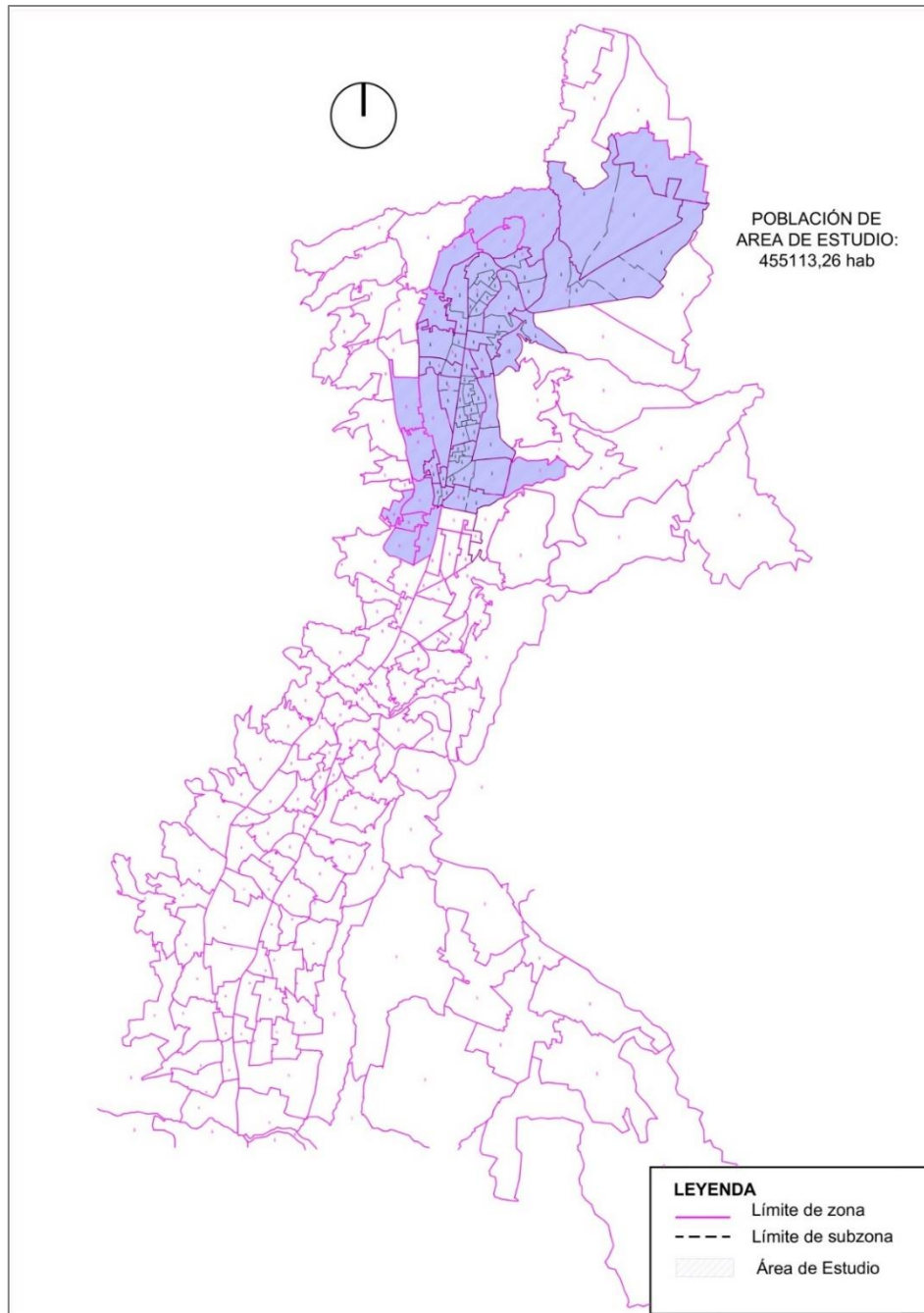


Ilustración 4-7 Área de estudio con zonificación.

Fuente y Elaboración: A&V Consultores



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

El área de estudio está definida por las zonas con un sombreado azul y se extiende desde el sector de Zabala, Llano Grande en el norte hasta el sector de la Y en el sur, con un alcance de aproximadamente que varía entre 1 y 3 km. de este a oeste. La longitud aproximada del área de estudio de 15.6 km.

Uno de los elementos importantes para analizar la potencial demanda de un corredor es la densidad poblacional a lo largo del mismo. En la siguiente imagen se presenta la densidad poblacional del corredor La Y – Carapungo

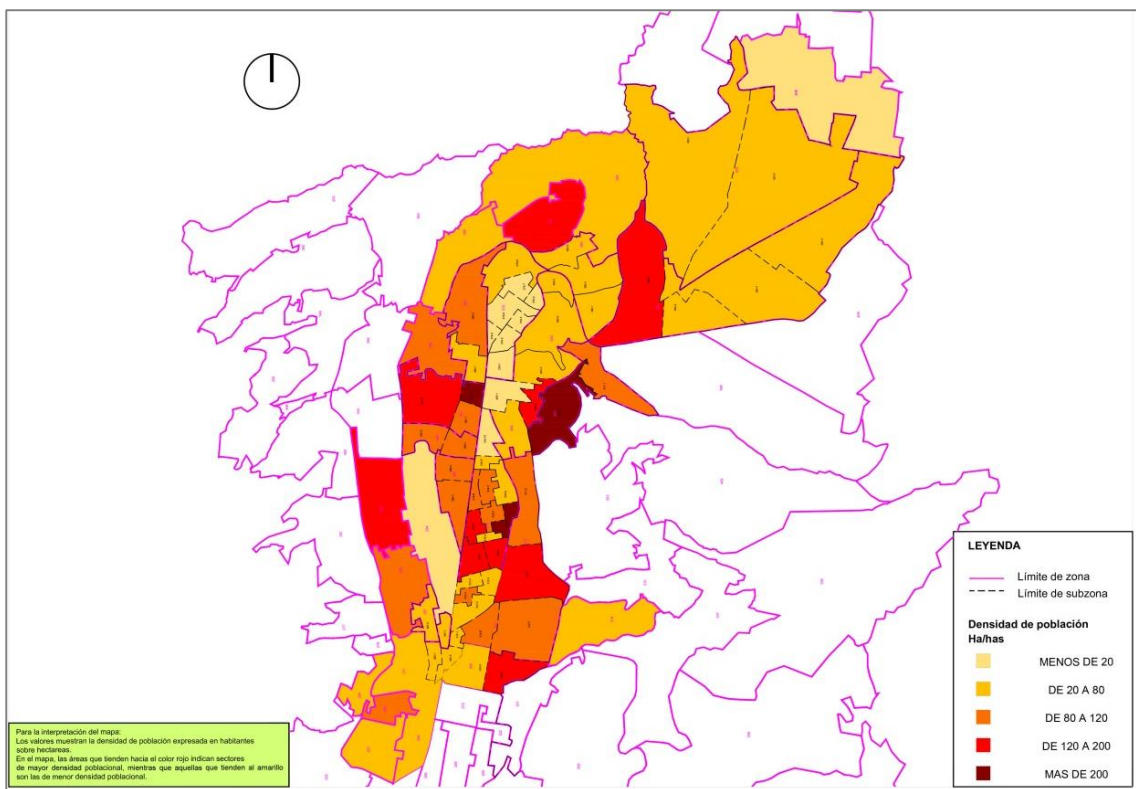


Ilustración 4-8 Densidad poblacional para el año 2015

Fuente: INEC

Elaboración: A&V Consultores



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La ilustración precedente permite identificar sectores con una importante densidad a lo largo del corredor como la Rumiñahui, la Kennedy o Carapungo y otros con gran potencial de crecimiento como Calderón, Zavala, Marianitas, entre otros.

Es importante recalcar que si bien la topografía es regular entre la Y y el intercambiador de Carcelén, entre este último punto y Calderón se presenta una importante diferencia de altura. En el primer tramo el punto más bajo es de 2.792 msnm y el punto más alto 2.881 en 5.93 km., lo que da una gradiente promedio de 1.5%. Sin embargo el segundo tramo, entre el intercambiador de Carcelén y Carapungo (Panamericana Norte) tiene una diferencia de altura de 106 metros en una longitud de 2.3 km, lo que da una gradiente promedio de 4.5% con tramos superiores al 9% (sector Eucaliptos).

4.2 Viabilidad técnica

4.2.1 Demanda y oferta en el corredor

El estudio para la implantación de un sistema de transporte considera la estimación de demanda existente sobre el corredor con el fin de identificar los modos de transporte que tengan la capacidad de absorber esta demanda.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En este sentido es necesario puntualizar dos aspectos importantes: la oferta de los sistemas de transporte puede ser analizada considerando tiene dos componentes: el intervalo de servicio y la capacidad total (pphpd). Para ilustrar este punto se puede indicar que un tren subterráneo puede llevar hasta 1.000 y pasar cada hora, lo que da una capacidad de 1.000 pasajeros por hora y por dirección, con una frecuencia de 60 minutos. Por otra parte si consideramos buses (de 40 asientos y 10 pasajeros de pie, total 50 pasajeros), se requieren 20 buses en una hora para llevar la misma cantidad de personas, es decir un bus cada 3 minutos.

Este ejemplo muestra que para la misma capacidad de pasajeros por hora y por dirección se puede tener una gran diferencia en los intervalos. Este punto es extremadamente importante, si se considera que los pasajeros en zonas urbanas no realizan largas esperas en las estaciones de transporte, en caso de que no existan frecuencias con intervalos cortos (inferiores a cinco minutos), buscarán medios de transporte alternativos. Por lo tanto el análisis para la implantación del sistema debe considerar por un lado la capacidad necesaria en pasajeros por hora y por dirección y el intervalo promedio del sistema.

En el caso de Quito se puede tomar como un valor referencial la demanda actual del sistema trolebús, como el principal corredor. En el siguiente gráfico se muestra la demanda actual del corredor con los valores determinados por la EPMPQ.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

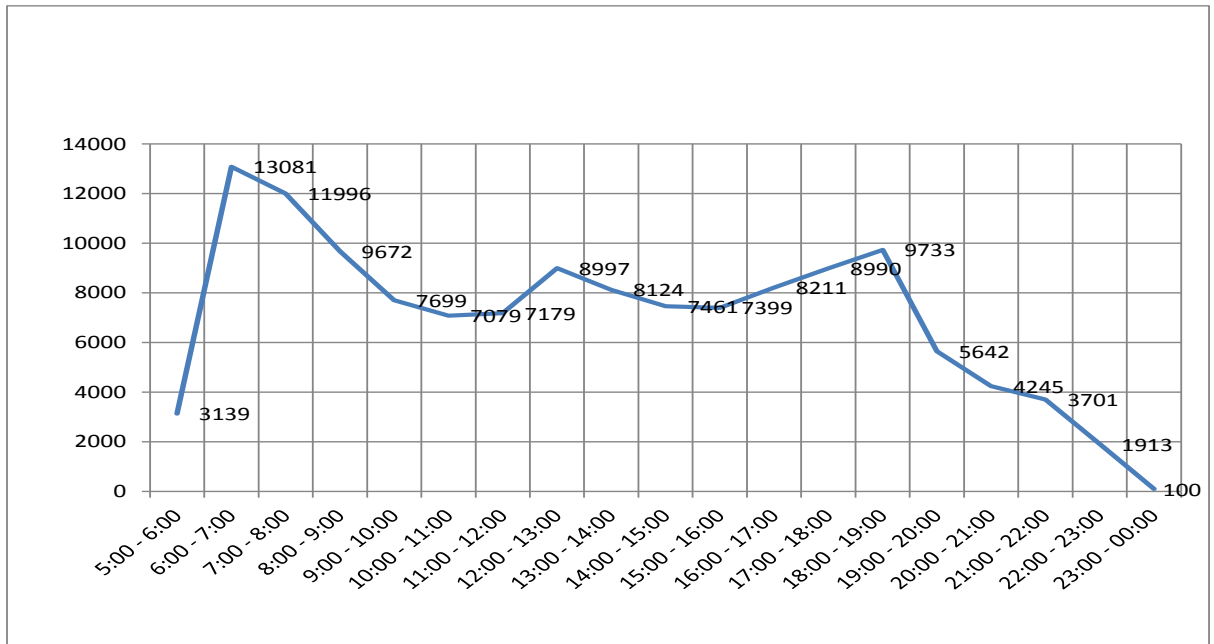


Ilustración 4-9 Pasajeros por hora/dirección (sur-norte) – Troncal trolebús

Fuente y elaboración: EPMPQ²⁹

²⁹ (EPMPQ, 2015)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

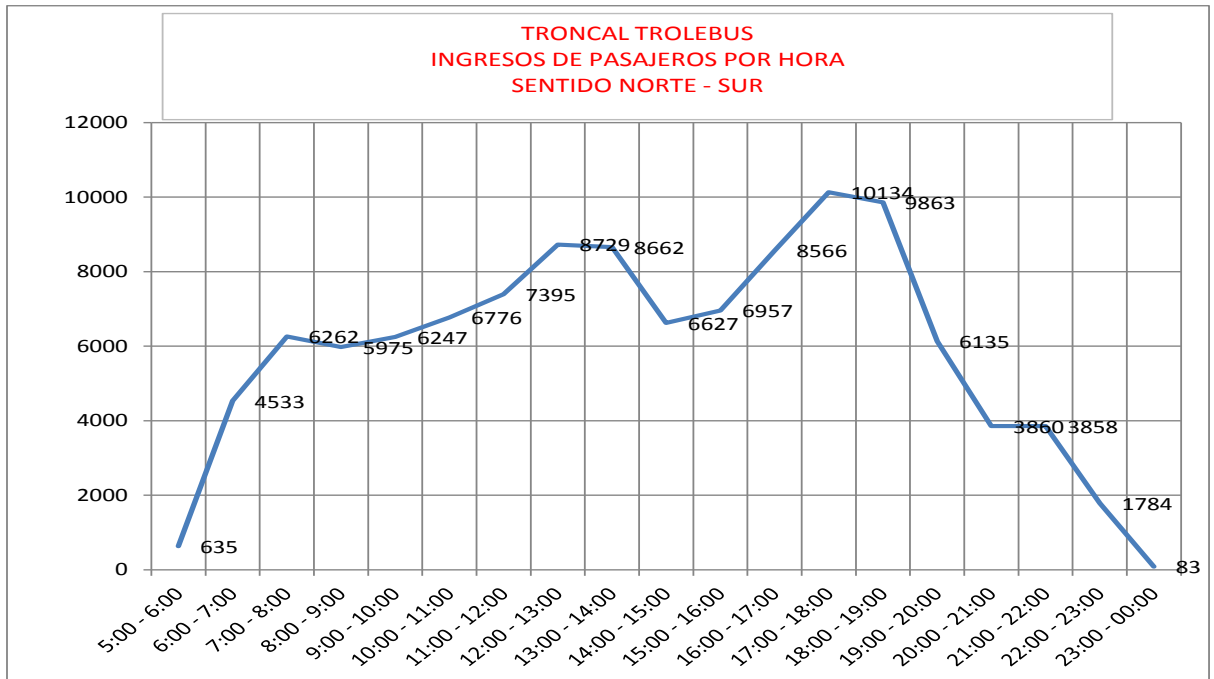


Ilustración 4-10 Pasajeros por hora/dirección (sur-norte) – Troncal trolebús

Fuente y elaboración: EPMPQ³⁰

En los gráficos precedentes se puede observar que para el sentido sur – norte existe un pico de demanda de 13.000 pasajeros entre las 06h00 y las 07h00, mientras que para el sentido norte – sur se tiene un pico de 10.100 pasajeros entre las 17h00 y las 18h00.

Al consultar a la Empresa Pública Metropolitana de Pasajeros sobre la cantidad promedio diaria de pasajeros transportados en el sistema trolebús, se indicó que en el sistema se transportan diariamente 260.000 pasajeros, de esta cifra total 245.000

³⁰ (EPMPQ, 2015)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

corresponden a pasajeros pagados y la diferencia a pasajeros que realizan transferencias.

Se han tomado los datos precedentes para realizar el cálculo del porcentaje que representa la demanda en hora pico con respecto del total de la demanda. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 4-3 % de demanda en hora pico (s-n) con respecto al total de la demanda en dos sentidos

Total pasajeros transportados por día	260,000
Máxima cantidad de Pphd	13,000
% de pasajeros en hora pico por sentido	5.00%

Fuente: EPMT PQ

Tabla 4-4 % de demanda en hora pico (s-n) con respecto a la demanda en un sentido.

Total pasajeros transportados por día	130,000
Máxima cantidad de Pphd	13,000
% de pasajeros en hora pico por sentido	10.00%

Fuente: EPMT PQ



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

En este último cuadro se asume que la demanda tiene un equilibrio entre los dos sentidos y se ha tomado el 50% para el sentido norte-sur y 50% para el sur-norte.

Tabla 4-5 % de demanda en hora pico (n-s) con respecto al total de la demanda en dos sentidos

Total pasajeros transportados por día	260,000
Máxima cantidad de Pphd	10,100
% de pasajeros en hora pico por sentido	3.88%

Fuente: EPMTQP

Tabla 4-6 % de demanda en hora pico (n-s) con respecto a la demanda en un sentido.

Total pasajeros transportados por día	130,000
Máxima cantidad de Pphd	10,100
% de pasajeros en hora pico por sentido	7.77%

Fuente: EPMTQP

En este último cuadro se asume que la demanda tiene un equilibrio entre los dos sentidos y se ha tomado el 50% para el sentido norte-sur y 50% para el sur-norte.

Con estos datos se puede indicar que la demanda en hora pico se encuentra entre el 7.7% y el 10% de la demanda total del sistema aproximadamente (por sentido). Este



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

es un valor referencial que puede resultar muy útil en el análisis de la factibilidad del sistema.

Esta demanda puede ser tomada como un valor referencial correspondiente a un corredor consolidado y en este sentido se entendería que es el corredor con mayor demanda en la ciudad, por lo tanto, sería prudente considerar que la extensión norte de este mismo sistema tendría menor demanda.

Al analizar los datos iniciales recopilados por los consultores encargados de los estudios del corredor Labrador – Carapungo, se identificó que existen 12 rutas de transporte convencional que transitan por este corredor y tiene los siguientes valores de ocupación:

Tabla 4-7 Pasajeros transportados por ruta en el sector norte de Quito

PASAJEROS TRANSPORTADOS POR RUTA					
LÍNEA			No. PASAJEROS		
No.	NOMBRE	COOPERATIVA	NORTE - SUR	SUR - NORTE	TOTAL
1	SAN JUAN DE CALDERÓN - EJIDO	TRANSPORSEL	12.567	11.207	23.773
2	ALBORADA DE LA PAZ - TERMINAL NORTE LA Y	SAN JUAN DE CALDERÓN	6.976	6.932	13.908
3	DIVINO NIÑO - PRADERA - TERMINAL NORTE LA Y	SAN JUAN DE CALDERÓN	7.151	6.185	13.336
4	BICENTENARIO - ECUADOR - CARAPUNGO - EJIDO	SEMGYLLFOR	4.662	3.822	8.484
5	CARAPUNGO ETAPA E - UCE	CALDERÓN	2.512	2.468	4.980
6	LUZ Y VIDA - NUEVO AMANECER - JARDIN	TRANSPORSEL	5.500	5.222	10.722
7	LA TOLA - SAN JOSÉ - TERMINAL NORTE LA Y	CALDERÓN	4.834	3.734	8.568
8	COLLAS - TERMINAL NORTE LA Y	CALDERÓN	8.847	9.252	18.100
9	CISNE - ZABALA - TERMINAL NORTE LA Y	CALDERÓN	4.544	3.809	8.353
10	CARCELÉN BAJO - MARÍN	MONSERRAT	8.496	8.385	16.881
11	LLANO GRANDE - TERMINAL NORTE LA Y	CALDERÓN	5.077	4.452	9.529
12	LA CRUZ - ZABALA - TERMINAL RÍO COCA	CALDERÓN	7.228	6.668	13.897
TOTAL			78.394	72.136	150.530

Fuente y Elaboración: A&V Consultores



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Si se aplican a estos datos de demanda los porcentajes para la hora pico, revisados en los párrafos precedentes, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 4-8 Rango de demanda estimada en hora pico por sentido (n-s) para corredor Labrador – Carapungo.

Demanda total diaria (n-s)	100%	78,394
Factor de demanda en hora pico (mañana)	7.77%	6,091
Factor de demanda en hora pico (tarde)	10%	7,839

Fuente A&V Consultores

Tabla 4-9 Rango de demanda estimada en hora pico por sentido (s-n) para corredor Labrador – Carapungo.

Demanda total diaria (n-s)	100%	72,136
Factor de demanda en hora pico (mañana)	7.77%	5,605
Factor de demanda en hora pico (tarde)	10%	7,214

Fuente A&V Consultores



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Con estos valores se puede indicar que la demanda estimada en hora pico para este nuevo corredor para el año 2015 estaría en un rango de 5.600 a 7.800 pphpd. Con estos valores, cualquiera de los sistemas en estudio: riel ligero, riel pesado o brt estarían en capacidad de abastecer el corredor.

Sin embargo es necesario considerar de forma paralela el intervalo con el cual trabajaría el sistema. En este sentido los usuarios buscan tener la menor espera posible en las estaciones, por lo tanto el sistema que ofrezca un menor intervalo sería más conveniente.

Con un sistema de grandes trenes (riel pesado) se podría abastecer la demanda de 6.000 pasajeros por hora y por sentido con intervalos de 10 minutos, mientras que con buses articulados (34 buses), con intervalos de 1 minuto y 45 segundos. En el primer caso los usuarios del sistema deberán esperar hasta 10 minutos para iniciar su viaje, mientras que en el segundo caso solo esperarán hasta 1'45. En este caso que el sistema más amigable para el usuario es el que utiliza los buses articulados. La gran diferencia para la generación de intervalos más cortos es el costo del material rodante, un bus articulado puede llegar a costar \$400.000 dólares y un tren con al menos un vagón más de \$6'000.000³¹ dólares (5'000.000 la locomotora y 1'000.000 cada vagón).

³¹ (RAILWAY TECHNICAL WEB PAGES, 2015)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Por otra parte es necesario indicar que el diseño del sistema debe considerar tanto la necesidad del año inicial, como las necesidades de flota de los años de horizonte, por ejemplo 10 o 20 años.

Para nuestro análisis y en función del crecimiento de la demanda en el corredor central del Trolebús, se utilizarán las proyecciones de población para Quito y específicamente para las parroquias en el área de estudio. A continuación se presentan dos tablas que tiene los datos de población del INEC y la proyección realizada por el Instituto de la Ciudad.

Tabla 4-10 Proyecciones poblacionales para el DMQ

ADMINISTRACIÓN ZONAL	PROYECCIONES POBLACION MDMQ					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Total Calderón	137,604	142,128	146,808	151,649	156,656	161,836
Total Eloy Alfaro	459,532	464,255	469,234	474,476	479,986	485,773
Total Eugenio Espejo	428,488	431,399	434,753	438,569	442,869	447,677
Total La delicia	351,133	358,585	366,545	375,043	384,110	393,778
Total Los Chillos	152,170	155,840	159,628	163,538	167,574	171,740
Total Manuela Sáenz	227,124	225,962	225,374	225,364	225,936	227,097
Total Quitumbe	291,440	301,286	311,782	322,967	334,885	347,580
Total Tumbaco	160,726	165,082	169,564	174,174	178,917	183,797
Total general	2.208,217	2.244,538	2.283,688	2.325,780	2.370,934	2.419,278

Fuente: INEC 2010, proyecciones elaboradas por el Instituto de la Ciudad ³²

³² (INEC - INSTITUTO DE LA CIUDAD, 2010)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-11 Resultados de censos 2001 y 2010

Código	Nombre de parroquia	Tasa de Crecimiento Anual 2001-2010			Tasa de Crecimiento Anual 1990 - 2001		
		Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total
	Nacional	1.96%	1.93%	1.95%	2.06%	2.14%	2.10%
170150	QUITO	1.55%	1.48%	1.51%	2.24%	2.12%	2.17%
170155	CALDERON (CARAPUNGO)	6.52%	6.47%	6.50%	7.72%	7.72%	7.72%

Fuente: censo de población y vivienda (cpv-2010), INEC³³

Elaboración: unidad de procesamiento-dirección de estudios analíticos estadísticos

Como se puede observar, el Cantón Quito (parroquias urbanas) ha crecido con una tasa aproximada del 1.50% anual en los últimos 10 años, mientras que Calderón ha crecido a una tasa del 6.5% anual.

Las proyecciones poblacionales realizadas por el Instituto de la Ciudad muestran que la tasa aplicada para el crecimiento de Calderón entre 2010 y 2015 es del 3% anual, mientras que la tasa para las administraciones zonales urbanas varían entre el 1 y el 2%.

Considerando que la mayor parte de la demanda del corredor en estudio se encuentran en el sector de Calderón, para nuestro caso de estudio se asumirá un valor del 3% anual, el mismo que corresponde a las proyecciones Municipales para el área de influencia. Por lo tanto para la proyección de la demanda se aplicará una tasa del 3% anual.

³³ (INEC, 2010)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4.2.2 Gradientes máximas

En cuanto a la viabilidad técnica el análisis nos ha llevado a identificar que prácticamente el único impedimento mecánico para los sistemas en estudio es la gradiente máxima que pueden vencer. Para el caso de los sistemas de riel pesado la gradiente máxima es del 4%, esto se debe en gran parte al peso del material rodante más la carga viva y a la adherencia de las ruedas a los rieles. Los sistemas de riel subterráneos y en superficie han sido construidos en varias ciudades con condiciones muy particulares, por ejemplo Boston o Nueva York, con niveles freáticos muy elevados no han tenido inconvenientes en adaptar los sistemas a su entorno.

Nuestra investigación ha identificado que los nuevos sistemas de riel ligero (tranvías o light trams en inglés) han sido diseñados para subir pendientes de máximo 8.5%, como el Škoda 15 T ForCity que se muestra a continuación:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias



Ilustración 4-11 Tranvía Skoda

Fuente: wikipedia³⁴

Al analizar la viabilidad de vencer pendientes máximas de los sistemas de riel, se establece que una de las dificultades que tiene que enfrentar estos sistemas es la capacidad de mantener adhesión entre los rieles y las ruedas, adicionalmente el peso también influye en la capacidad de subir pendientes importantes, superiores al 8.5% como tope máximo para sistemas livianos y al 4% como tope máximo para sistemas de riel pesados.

Para los sistemas BRT las gradientes máximas pueden llegar al 14% (por ejemplo el Lightram de Hess/Vossloh Kieppe), en tramos críticos menores a mil metros. En el caso del trolébus de Quito las especificaciones técnicas requerían que los vehículos puedan

³⁴ (Wikipedia/skoda, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

vencer una pendiente del 17% en condiciones de carga completa. Afortunadamente los motores eléctricos son mucho más eficientes y permiten lograr la potencia necesaria para lograr esto.

Por lo tanto en lo referente a viabilidad técnica el único punto diferenciador entre los sistemas de riel y los sistemas BRT (diésel o eléctrico) es la capacidad de vencer pendientes.

Para el caso del corredor Labrador – Carapungo, se presenta como necesario analizar las gradientes que deberán ser superadas por el sistema propuesto. A continuación se presenta el perfil de elevación del corredor:



Ilustración 4-12 Perfil de elevación del corredor Labrador - Carapungo

Fuente: google earth



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Como se puede observar, este perfil de elevación muestra gradientes superiores al 9%, lo que haría inviable implantar un sistema de riel ligero por un trazado similar al de la carretera Panamericana norte (sector carretas), y por lo tanto se descarta también la posibilidad de un sistema de riel pesado por superficie.

Si bien es posible lograr disminuir las pendientes mediante túneles y estaciones subterráneas, su construcción y mantenimiento requieren una inversión mucho mayor y su factibilidad deberá ser analizada de manera detallada en los estudios.

Sin embargo existe un elemento que no necesariamente es técnico, que afecta a los sistemas BRT o de rieles por igual y se refiere a la necesidad de espacio para generar los carriles exclusivos necesarios para su funcionamiento. Este requerimiento si bien depende de las características de la vía seleccionada, también depende de la política pública sobre transporte. Es decir que al tomar espacios públicos utilizados por vehículos privados o por peatones para ponerlos al servicio del transporte público de forma exclusiva requiere una política pública clara sobre las prioridades de la ciudad, ya que la adaptación de la sección transversal puede ser lograda, como se demostró en el centro histórico de Quito.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4.3 Viabilidad económico – financiera

Para realizar el análisis de la viabilidad económico – financiera es necesario establecer, por una parte los costos de inversión inicial, así como los costos de operación y por otra parte los “ingresos” que generará el proyecto. Tanto los costos de inversión como los de operación son claramente identificables, por ejemplo la infraestructura necesaria para el sistema, el personal, los insumos como energía, combustible entre otros. Sin embargo los ingresos que genera el sistema deben ser contabilizados no solo como los ingresos monetarios sino los beneficios sociales que la implantación del sistema genera para la ciudad.

En los análisis de viabilidad económica – financiera de proyectos de transporte normalmente se considera el ahorro en tiempos de viaje como el beneficio social de mayor relevancia. El ahorro en tiempo de viaje debe ser cuantificado considerando el valor del tiempo de los usuarios del sistema, sin embargo el valor del tiempo es relativo a la función del viaje. El valor del tiempo en horas de trabajo no es igual al valor del tiempo en horas no laborables, por lo que se requiere cuantificar el tiempo de viaje y los motivos. Por otra parte es necesario identificar los salarios de los usuarios del transporte para estimar el valor por hora del tiempo de los usuarios del transporte.

Para levantar los datos necesarios que permiten realizar estas estimaciones, en general se requiere elaborar una encuesta domiciliaria. Para nuestro caso de estudio



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

tomaremos el valor del tiempo por hora determinado en los estudios de viabilidad socio – económica de la primera línea de metro de Quito. Este estudio establece que el valor horario para el tiempo de los usuarios de transporte público en Quito es de US \$1.91 dólares para el año 2010³⁵. De acuerdo a la metodología escogida para este estudio se establece que el valor del tiempo será actualizado en función del incremento del PIB per cápita.

A continuación se presenta la tabla de actualización del tiempo de viaje de acuerdo al incremento del PIB per cápita al 2014.

³⁵ (Metro de Madrid S.A., 2010)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-12 PIB per capita en el Ecuador

AÑO	PIB PER CAPITA	VARIACIÓN PORCENTUAL	VALOR DEL TIEMPO
2010	4,636.70		1.91
2011	5,199.70	0.12	2.14
2012	5,655.90	0.09	2.33
2013	6,002.90	0.06	2.47
2014	6,363.07	0.06	2.62

Fuente: Banco Mundial³⁶

Elaboración: propia

El dato del PIB per cápita para el 2014 se encuentra estimado en función de la tasa de crecimiento del último año.

Como se puede ver en la tabla precedente, el valor del tiempo de viaje para el año 2014 es de \$2.62 dólares por hora para los usuarios del transporte público.

³⁶ (World Bank, 2014)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Otro de los supuestos necesarios para determinar la viabilidad económico – financiera es la tasa de descuento. Esta tasa permite la valoración de los flujos en el año base y generalmente se utiliza el 12% para proyectos públicos en Latinoamérica. Este mismo valor es utilizado por SENPLADES para la calificación de proyectos.

Existe otra metodología que puede ser aplicada para determinar la tasa de descuentos, esta es la del “promedio ponderado del costo de capital” o WACC por sus siglas en inglés (weighted average cost of capital). Si bien esta metodología es más precisa para determinar la tasa de descuento, es necesario conocer variable “beta”, que corresponde al riesgo específico de cada sector de la economía, en este caso transporte público urbano. En los Estados Unidos de Norteamérica los “betas” son ampliamente utilizados y actualizados en función de los rendimientos de las empresas y los valores de sus acciones principalmente. Este no es el caso en economías pequeñas como la ecuatoriana, en la que el mercado bursátil todavía no permite la identificación de “betas” por sectores.

Por lo tanto para nuestro caso de análisis utilizaremos la tasa del 12%.



Principales indicadores

Los principales indicadores de la evaluación económica / financiera de un proyecto son el Valor Presente Neto (VPN) y por la Tasa Interna de Retorno (TIR). Cada uno a su manera permite analizar la conveniencia o viabilidad de realizar un proyecto.

El Valor Presente Neto, VPN, consiste en calcular la diferencia entre los beneficios y los costos expresados en valor actual, es decir descontados con una tasa de descuento. Si el resultado es positivo puede decirse que el proyecto es rentable, a esa tasa de descuento.

El Valor Presente Neto, VPN, se calcula con la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{j=1}^n \left(\frac{B_j - C_j}{(1 + t)^j} \right) + I_0$$

Adonde: B_j = Beneficios en el año j

C_j = Costos en el año j

I_0 = Inversión inicial

t = Tasa de actualización (o tasa de descuento)

n = duración del periodo de evaluación (en años)

Un proyecto se vuelve rentable a partir del momento en que los valores actuales de los beneficios y los costos se igualan, por lo tanto el cálculo de la Tasa Interna de



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Retorno, TIR, consiste en la determinación de la tasa de descuento que hace posible que el VPN sea 0.

La Tasa Interna de Retorno, TIR se calcula a través de la siguiente ecuación $VPN(t) = 0$, es decir:

$$0 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{B_j - C_j}{(1 + TIR)^j} \right) + I_0$$

Como se explicó anteriormente, existe una tasa de descuento ampliamente utilizada para proyectos en Ecuador: el 12%.

Para nuestro caso de estudio se ha decidido realizar el análisis de las tres alternativas y comparar los resultados. A continuación se han establecido los siguientes supuestos para el caso del BRT:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-13 Supuestos para evaluación financiera, alternativa 1

SUPUESTOS	
Pasajeros día	150,000
Dias trabajados por año (buses)	320
Tarifa	0.30
Crecimiento anual	3.00%
Inflación anual	2.00%
Kilometros día/ unidad	190
# unidades	43.00
Costo / km	3.25
Tasa de descuento	12%
Valor horario del tiempo	2.62
Longitud promedio viaje en km	9
Velocidad actual promedio	15.00
Velocidad del nuevo sistema	23.76
Ahorro de tiempo de viaje (horas)	0.22

En este caso se han tomado los valores medios de los costos para el sistema BRT, tanto en costos de operación como en inversión inicial: costo de operación por km = \$3.25 y costo de inversión inicial por kilómetro de \$11'000.000 de dólares

A continuación se muestra el análisis financiero



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público
 Juan Francisco Arias

Tabla 4-14 Flujo alternativa 1

	Años / 0	1	2	3	4	5	6	7	8
INVERSIÓN INICIAL	121,000,000								
INFRAESTRUCTURA	121,000,000								
INGRESOS OPERACIONALES		15,202,800	15,658,884	16,128,651	16,612,510	17,110,885	17,624,212	18,152,938	18,697,526
TARIFA		14,832,000	15,276,960	15,735,269	16,207,327	16,693,547	17,194,353	17,710,184	18,241,489
OTROS INGRESOS		370,800	381,924	393,382	405,183	417,339	429,859	442,755	456,037
COSTOS OPERACIONALES		10,533,551	11,066,549	11,626,516	12,214,818	12,832,887	13,482,232	14,164,432	14,881,153
COSTOS KM. RECORRIDOS		8,926,738	9,378,431	9,852,980	10,351,540	10,875,328	11,425,620	12,003,756	12,611,146
OTROS COSTOS		1,606,813	1,688,118	1,773,536	1,863,277	1,957,559	2,056,612	2,160,676	2,270,006
AHORROS TIEMPO VIAJE USUARIOS		10,936,727	11,264,829	11,602,774	11,950,857	12,309,383	12,678,664	13,059,024	13,450,795
UTILIDAD / PERDIDA	-121,000,000	15,605,976	15,857,164	16,104,909	16,348,550	16,587,381	16,820,645	17,047,530	17,267,169

Tabla 4-15 Flujo alternativa 1

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19,258,452	19,836,206	20,431,292	21,044,231	21,675,558	22,325,824	22,995,599	23,685,467	24,396,031	25,127,912	25,881,749	26,658,202
18,788,734	19,352,396	19,932,968	20,530,957	21,146,885	21,781,292	22,434,731	23,107,773	23,801,006	24,515,036	25,250,487	26,008,002
469,718	483,810	498,324	513,274	528,672	544,532	560,868	577,694	595,025	612,876	631,262	650,200
15,634,139	16,425,227	17,256,343	18,129,514	19,046,867	20,010,639	21,023,177	22,086,950	23,204,550	24,378,700	25,612,262	26,908,242
13,249,270	13,919,683	14,624,019	15,363,995	16,141,413	16,958,169	17,816,252	18,717,754	19,664,873	20,659,915	21,705,307	22,803,595
2,384,869	2,505,543	2,632,324	2,765,519	2,905,454	3,052,470	3,206,925	3,369,196	3,539,677	3,718,785	3,906,955	4,104,647
13,854,319	14,269,948	14,698,047	15,138,988	15,593,158	16,060,953	16,542,781	17,039,065	17,550,237	18,076,744	18,619,046	19,177,617
17,478,632	17,680,928	17,872,996	18,053,705	18,221,848	18,376,138	18,515,203	18,637,582	18,741,718	18,825,956	18,888,533	18,927,577

Para este caso los indicadores son los siguientes:

TASA INTERNA DE RETORNO	13%
VALOR ACTUAL NETO	4,917,085

Para el caso del sistema de riel ligero se han establecido los siguientes supuestos:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-16 Supuestos para evaluación financiera alternativa 2

SUPUESTOS	
Pasajeros día	150,000
Días trabajados por año (buses)	320
Tarifa	0.30
Crecimiento anual	3.00%
Inflación anual	2.00%
Kilometros día/ unidad	190
# unidades	43.00
Costo / km	7.58
Tasa de descuento	12%
Valor horario del tiempo	2.62
Longitud promedio viaje en km	9
Velocidad actual promedio	15.00
Velocidad del nuevo sistema	23.76
Ahorro de tiempo de viaje (horas)	0.22

A continuación se presenta el flujo de caja de esta opción:

Tabla 4-17 Flujo alternativa 2

	Años / 0	1	2	3	4	5	6	7
INVERSIÓN INICIAL	225,940,000							
INFRAESTRUCTURA	225,940,000							
INGRESOS OPERACIONALES		15,202,800	15,658,884	16,128,651	16,612,510	17,110,885	17,624,212	18,152,938
TARIFA		14,832,000	15,276,960	15,735,269	16,207,327	16,693,547	17,194,353	17,710,184
OTROS INGRESOS		370,800	381,924	393,382	405,183	417,339	429,859	442,755
COSTOS OPERACIONALES		24,567,482	25,810,596	27,116,613	28,488,713	29,930,242	31,444,712	33,035,815
COSTOS KM. RECORRIDOS		20,819,900	21,873,387	22,980,180	24,142,977	25,364,612	26,648,061	27,996,453
OTROS COSTOS		3,747,582	3,937,210	4,136,432	4,345,736	4,565,630	4,796,651	5,039,362
AHORROS TIEMPO VIAJE USUARIOS		10,936,727	11,264,829	11,602,774	11,950,857	12,309,383	12,678,664	13,059,024
UTILIDAD / PERDIDA	-225,940,000	1,572,045	1,113,117	614,812	74,654	(509,974)	(1,141,836)	(1,823,852)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-18 Flujo alternativa 2

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18,697,526	19,258,452	19,836,206	20,431,292	21,044,231	21,675,558	22,325,824	22,995,599	23,685,467	24,396,031	25,127,912	25,881,749	26,658,202
18,241,489	18,788,734	19,352,396	19,932,968	20,530,957	21,146,885	21,781,292	22,434,731	23,107,773	23,801,006	24,515,036	25,250,487	26,008,002
456,037	469,718	483,810	498,324	513,274	528,672	544,532	560,868	577,694	595,025	612,876	631,262	650,200
34,707,427	36,463,623	38,308,682	40,247,101	42,283,605	44,423,155	46,670,967	49,032,518	51,513,563	54,120,150	56,858,629	59,735,676	62,758,301
29,413,074	30,901,375	32,464,985	34,107,713	35,833,563	37,646,742	39,551,667	41,552,981	43,655,562	45,864,533	48,185,279	50,623,454	53,185,001
5,294,353	5,562,248	5,843,697	6,139,388	6,450,041	6,776,414	7,119,300	7,479,537	7,858,001	8,255,616	8,673,350	9,112,222	9,573,300
13,450,795	13,854,319	14,269,948	14,698,047	15,138,988	15,593,158	16,060,953	16,542,781	17,039,065	17,550,237	18,076,744	18,619,046	19,177,617
(2,559,106)	(3,350,852)	(4,202,528)	(5,117,763)	(6,100,386)	(7,154,440)	(8,284,190)	(9,494,137)	(10,789,031)	(12,173,882)	(13,653,973)	(15,234,880)	(16,922,482)

Los indicadores financieros de esta opción son:

TASA INTERNA DE RETORNO	#¡NUM!
VALOR ACTUAL NETO	-219,098,129

En este caso la tasa interna de retorno genera un error, ya que el flujo tiene valores negativos muy altos.

Finalmente se presenta el escenario con el sistema de riel pesado:



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-19 Supuestos evaluación financiera alternativa 3

SUPUESTOS	
Pasajeros día	150,000
Dias trabajados por año (buses)	320
Tarifa	0.30
Crecimiento anual	3.00%
Inflación anual	2.00%
Kilometros día/ unidad	190
# unidades	43.00
Costo / km	5.30
Tasa de descuento	12%
Valor horario del tiempo	2.62
Longitud promedio viaje en km	9
Velocidad actual promedio	15.00
Velocidad del nuevo sistema	23.76
Ahorro de tiempo de viaje (horas)	0.22

El costo promedio de la inversión inicial para sistemas de metro es de \$150'000.000 por kilómetro.

A continuación se presenta el flujo:

Tabla 4-20 Flujo alternativa 3

	Años / 0	1	2	3	4	5	6	7
INVERSIÓN INICIAL	1,650,000,000							
INFRAESTRUCTURA	1,650,000,000							
INGRESOS OPERACIONALES		15,202,800	15,658,884	16,128,651	16,612,510	17,110,885	17,624,212	18,152,938
TARIFA		14,832,000	15,276,960	15,735,269	16,207,327	16,693,547	17,194,353	17,710,184
OTROS INGRESOS		370,800	381,924	393,382	405,183	417,339	429,859	442,755
COSTOS OPERACIONALES		17,177,791	18,046,987	18,960,165	19,919,549	20,927,478	21,986,408	23,098,921
COSTOS KM. RECORRIDOS		14,557,450	15,294,057	16,067,936	16,880,974	17,735,151	18,632,549	19,575,356
OTROS COSTOS		2,620,341	2,752,930	2,892,228	3,038,575	3,192,327	3,353,859	3,523,564
AHORROS TIEMPO VIAJE USUARIOS		10,936,727	11,264,829	11,602,774	11,950,857	12,309,383	12,678,664	13,059,024
UTILIDAD / PERDIDA	-1,650,000,000	8,961,737	8,876,726	8,771,260	8,643,818	8,492,790	8,316,468	8,113,042



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Tabla 4-21 Flujo alternativa 3

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18,697,526	19,258,452	19,836,206	20,431,292	21,044,231	21,675,558	22,325,824	22,995,599	23,685,467	24,396,031	25,127,912	25,881,749	26,658,202
18,241,489	18,788,734	19,352,396	19,932,968	20,530,957	21,146,885	21,781,292	22,434,731	23,107,773	23,801,006	24,515,036	25,250,487	26,008,002
456,037	469,718	483,810	498,324	513,274	528,672	544,532	560,868	577,694	595,025	612,876	631,262	650,200
24,267,726	25,495,673	26,785,754	28,141,113	29,565,054	31,061,045	32,632,734	34,283,950	36,018,718	37,841,265	39,756,034	41,767,689	43,881,134
20,565,870	21,606,503	22,699,792	23,848,401	25,055,130	26,322,920	27,654,859	29,054,195	30,524,338	32,068,869	33,691,554	35,396,346	37,187,402
3,701,857	3,889,170	4,085,962	4,292,712	4,509,923	4,738,126	4,977,875	5,229,755	5,494,381	5,772,396	6,064,480	6,371,342	6,693,732
13,450,795	13,854,319	14,269,948	14,698,047	15,138,988	15,593,158	16,060,953	16,542,781	17,039,065	17,550,237	18,076,744	18,619,046	19,177,617
7,880,595	7,617,098	7,320,400	6,988,226	6,618,166	6,207,670	5,754,043	5,254,430	4,705,813	4,105,002	3,448,622	2,733,107	1,954,685

Para este escenario los indicadores financieros son los siguientes:

TASA INTERNA DE RETORNO	-20%
VALOR ACTUAL NETO	-1,421,959,757

En este caso la tasa interna de retorno es de -20% y el VAN de -\$1'420.000 aproximadamente.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los tres escenarios

Tabla 4-22 Comparación de indicadores financieros de alternativas 1, 2 y 3

	TIR	VAN
BRT	13%	4,917,085
LRT	N/A	-219,098,129
Metro	-20%	-1,421,959,757



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Para el caso de estudio, un corredor de aproximadamente 11 kilómetros y tomando en consideración los valores medios de costos de inversión y mantenimiento, claramente los sistemas BRT son los únicos que presentan una rentabilidad aceptable.

Esto se explica debido a las grandes inversiones iniciales que suponen tanto los sistemas de riel ligero como los sistemas de riel pesado. Esto se complementa con el mayor costo de mantenimiento que requieren estos sistemas y finalmente la tarifa existente de \$0.25 dólares limita los ingresos operacionales, por lo que en el tiempo los sistemas una porción menor de sus costos de operación.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

4.4 Evaluación preliminar de sistemas de transporte por cable

Durante los últimos meses tanto Quito como Guayaquil han emprendido sendos estudios para determinar la factibilidad de implementar sistemas de transporte masivo por medio de cables. En el caso de Guayaquil las autoridades han determinado que la congestión y la poca disponibilidad de espacio para vialidad requieren soluciones alternativas y complementarias de transporte masivo; en el caso de Quito la Municipalidad ha establecido la necesidad de evaluar sistemas de cable en función de la topografía y la dificultad de acceso a ciertos sectores de la Ciudad: Las Argelias, La Mena, Toctiuco, El Tejar y La Roldós.

Estos últimos acontecimientos han incrementado la necesidad de evaluar sistemas alternativos de transporte y por lo tanto se ha considerado importante incluir dentro de nuestra investigación las características de los sistemas de cable y su potencial evaluación frente a los sistemas ya presentados en este documento.

Al analizar los sistemas de transporte por cable se identificó la capacidad por hora y por dirección varía entre 2.000 y 4.500 pasajeros (bastante inferior a la de los sistemas analizados previamente). La capacidad de estos sistemas está definida por dos elementos muy importantes: la capacidad de las cabinas y el sistema de tracción y suspensión (monocable o tricable).



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Los costos de inversión para los sistemas de transporte masivo por cable fluctúan entre 20 y 30 millones de dólares por kilómetro. Un ejemplo reciente y cercano de la implementación del sistema de transporte por Cable, es el de la Paz en Bolivia. En este caso el sistema utilizaremos los datos de la ficha técnica del proyecto teleférico de la Paz³⁷.

A continuación se presenta la imagen del teleférico de la Paz, Línea Amarilla:



Ilustración 4-13 Teleférico de La Paz, línea amarilla

Fuente: wikipedia³⁸

³⁷ (Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, n.d.)

³⁸ (Wikipedia Mi Teleferico, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

La inversión total de este proyecto fue de \$234'680.000 dólares y cuenta con tres líneas: línea roja, línea amarilla y línea verde (tecnología monocable) que cubre una distancia de 10 km³⁹. Es decir que este sistema tuvo un costo aproximado de \$23.4 millones de dólares el kilómetro. La capacidad del sistema se encuentra en 3.000 pasajeros por hora y por dirección. Estos datos confirman los rangos descritos previamente.

Para realizar la evaluación de factibilidad de un sistema de cable, de forma inicial se debe establecer que la demanda del corredor debe encontrarse entre 1.000 y 4.500 pasajeros por hora y por dirección. En segundo lugar es necesario determinar si el trazado de las líneas es factible, ya que existen varios elementos que deben tomarse en cuenta, entre estos: la altura de los edificios cercanos, las vías aéreas, la imposibilidad de estos sistemas para realizar curvas sin estaciones.

Los sistemas de transporte por cable, generalmente llamados teleféricos, son sistemas que utilizan uno o dos cables portantes y un cable de tracción. En el caso de que el sistema utilice un mismo cable como cable portante y de tracción se denomina monocable, en caso de que el sistema utilice dos cables portantes y un cable adicional de tracción se denomina tricable.

³⁹ (Wikipedia Mi Teleferico, n.d.)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Si bien para la evaluación de un sistema de transporte por cable se puede aplicar la metodología propuesta en esta investigación, será necesario tomar en cuenta aspectos muy precisos entre los que se encuentran los siguientes:

- La capacidad máxima del sistema se encuentra en 4.500 pphpd;
- La inversión por kilómetro está en un rango de 20 a 30 millones de dólares;
- Cada estación tiene un costo elevado, por lo que al aumentar el número de estaciones, el costo del proyecto se eleva drásticamente, esto significa que no es un sistema apto para tramos con varias paradas cercanas;
- El sistema debe tener tramos directos (sin curvas) de preferencia, solo puede realizar una curva en una estación;
- El o los cables, deben ser reemplazados a los 5 o máximo 10 años dependiendo de la tecnología utilizada (monocable o tricable)
- El sistema requiere un mantenimiento especializado y constante para mantener las piezas móviles en óptimas condiciones.

Para sistemas de transporte urbano masivo urbanos se han identificado dos grandes empresas que dominan el mercado mundial: POMA (Francia) y DOPPELMAYR (Suiza),

La empresa Poma tiene proyectos de este tipo implantados en las siguientes ciudades:

- Paris, Francia
- Shenzhen, China



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

- Medellín, Colombia
- Nha trang, Vietnman
- Dubai, Emiratos Árabes
- Zurich, Suiza
- Porto, Portugal
- Taipei, Taiwan
- Londres, Inglaterra
- Madrid, España
- Yen Tu, Vietnam

La empresa Doppelmayr ha desarrollado, entre otros, los siguientes proyectos:

- Portland, Estados Unidos
- Londres, Inglaterra
- Caracas, Venezuela
- Las Vegas, Estados Unidos
- La Paz, Bolivia
- Río de Janeiro, Brasil
- Bilbao, España
- Estambul, Turquía

Se puede concluir que los sistemas de transporte masivo por cable para áreas urbanas se justifican si la demanda es inferior a 4.500 pphpd, si la topografía dificulta la



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

implantación de sistemas con menores costos de inversión, si el espacio físico para implantar otros sistemas es muy limitado (ciudad consolidada sin capacidad vial disponible).

En el caso de Quito se puede analizar el sector denominado Jaime Roldós y Pisulí, estos barrios tienen una importante diferencia de altura con el sector de la Ofelia, ya que se encuentra asentado en las faldas del Pichincha, su topografía complica la conexión ya que existen dos quebradas muy importantes que atraviesan de norte a sur, generando una severa desconexión. Existe solo una vía de salida (Av. Francisco de Rumihurcu), a cuyos costados se ha desarrollado comercio y vivienda de forma importante. Se suma a esto que es un sector con población de bajos recursos económicos y que ha crecido de forma importante los últimos años.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

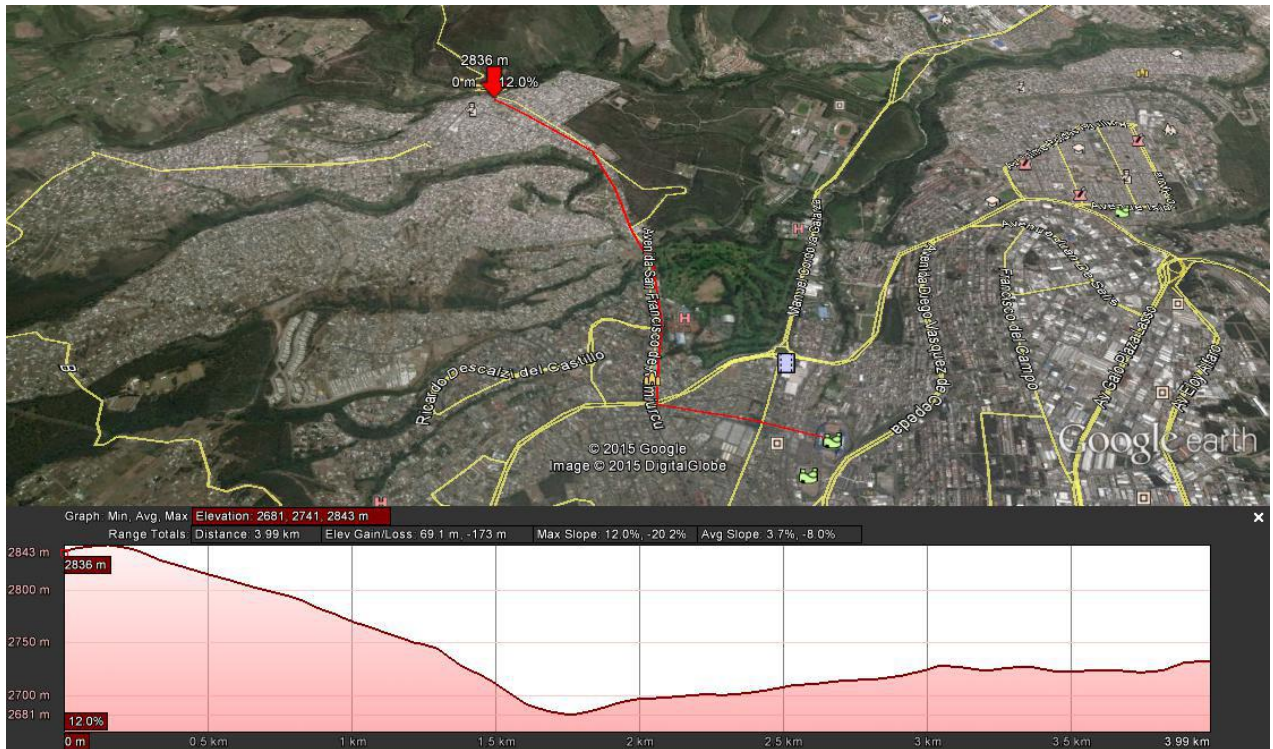


Ilustración 4-15 Perfil de elevación del sector en estudio para transporte por cable

Fuente: google earth

Este sector cumple con las características mencionadas anteriormente: difícil topografía, diferencia de altura importante (162 metros de diferencia en altura en 1.5 km) y poco espacio vial (una sola avenida de salida y entrada). Al momento el servicio de transporte público se presta a través de buses convencionales, por lo que al analizar el nuevo sistema se deberá considerar que es complementario al sistema de buses convencionales existente y permitirá ampliar la capacidad y la calidad del servicio para los usuarios.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Entre las principales dificultades que los proyectos de cable han encontrado, es el valor de la inversión inicial, ya que es prácticamente inviable que con tarifas bajas un operador privado pueda lograr una rentabilidad para cubrir la inversión inicial, ya que la capacidad de transporte del sistema es baja comparada a los otros sistemas que hemos estudiado en esta investigación. Esto ha generado que el sector público sea quien realice la inversión inicial y de forma posterior se realice una concesión para que sea operado por compañías privadas, ya que el mantenimiento y la operación requieren alta especialización.



5. Conclusiones y recomendaciones

Los modos de transporte analizados muestran una importante variación en sus costos de inversión y operación, por lo que es recomendable establecer rangos para la comparación de los sistemas.

Las capacidades de los sistemas en estudio muestran claramente que el metro (riel pesado) es el sistema que mayor capacidad ofrece y tanto el BRT como el riel ligero tienen capacidades con rangos similares. La capacidad de los sistemas BRT tiene la ventaja de ser flexible, se pueden utilizar carriles de rebase, servicios expresos, convoyes y diferentes tipos de vehículos (articulados, bi-articulados), sin grandes inversiones adicionales.

Los datos más recientes de demanda en el corredor más cargado de Quito (trolebús), muestran que en hora pico se tienen aproximadamente 13.000 pphd. Esto quiere decir que un sistema BRT o un sistema de riel ligero pueden suplir con amplitud la demanda. Los sistemas de riel pesado, como el metro (de superficie o subterráneo) sería recomendable en caso de sobre pasar los 40.000 pphd. Lo cual no parece probable en los próximos años, ya que el incremento en la demanda ha sido proporcional al incremento poblacional. Es decir que si Quito los corredores más cargados de la ciudad continúan con esta tendencia, en 20 años se llegarán a tener un 50% más demanda (trolebús hasta 20.000 pphd en su tramo más cargado).



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Por otra parte los criterios entre los criterios a considerar en la planificación de sistemas de transporte y en particular en el caso de Quito se encuentran los siguientes:

- Posibilidad de construir vías completa o parcialmente segregadas (carriles, túneles o viaductos),
- Posibilidad de eliminar intersecciones (construir pasos inferiores), o disminuir las demoras que estas presentan para el sistema.
- Posibilidad de construir estaciones que alberguen varios vehículos para poder operar en convoy,
- Gradientes máximas del trazado.
- Nivel de financiamiento para el proyecto.
- Porción de los costos operacionales que cubre la tarifa

Para ciudades latinoamericanas la disyuntiva entre la implantación de un sistema BRT o un sistema de riel liviano o uno de riel pesado es una decisión muy importante, en especial si se considera la limitación de los presupuestos y la cantidad de necesidades insatisfechas. Para ciudades con grandes presupuestos la decisión no es necesariamente es excluyente, en el sentido que estos sistemas pueden ser complementarios.



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Los sistemas BRT pueden ser a la vez sustitutos y complementos de los sistemas de riel, ya que sus características de flexibilidad, menor tiempo de implantación y menores costos de inversión permiten que sean alternativas muy eficientes para el transporte masivo. A continuación se presenta la tabla que resume las conclusiones de la investigación en los valores y los rangos de los tres sistemas de transporte en estudio.

Tabla 5-1 Cuadro de resultados comparativos de las características de los sistemas de transporte

Modo	Capacidad Pasajeros hora/dirección	Velocidad comercial Km/h	Costo de inversión millones por km	Costo de operación por km ⁴⁰	Tiempo de implantación en meses ⁴¹	Flexibilidad
BRT	45.000	16 a 40	6 a 15	2.94 a 3.50	12 a 24	Alta
LRT	45.000	15 a 35 ⁴²	20,54	7.58	24 a 36	Media
Metro subterráneo	80.000*	30 a 40	120 a 180	5.30	48 a 120	Baja

* Capacidad máxima alcanzada por MTR Corporation, Hong Kong⁴³

⁴⁰ (Cerver, 2013)

⁴¹ (Cerver, 2013)

⁴² (European Rail Research Advisory Council, ERRAC, 2009)

⁴³ (Wikipedia)



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

BIBLIOGRAFÍA (NORMAS APA)

America Public Transportation Association. (s.f.). APTA. Obtenido de <http://www.apta.com/resources/statistics/Pages/glossary.aspx#8>

Cerver, R. (2013). *Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and*. California.

Cervero, R. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Passenger_rail_terminology

Consejo Nacional de Competencias, Dr. Gustavo Bedón. (2012). *Resolución No. 006-CNC-2012*. Quito.

el metro de panama. (s.f.). *el metro de panama*. Obtenido de <http://www.elmetrodepanama.com/pdf/Metro-cuadro-gastos.pdf>

Embarq. (s.f.). *Evaluación ex post sistema de transporte masivo Bogota fase I yll*.

EPMPQ. (2015). *PROPUESTA OPERACIONAL PARA EL SERVICIO TRONCAL DEL* .

EPQ Empresa de Pasajeros de Quito. (mayo de 2013). *Empresa Publica de Pasajeros de Quito*. Obtenido de http://www.trolebus.gob.ec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=674

European Rail Research Advisory Council, ERRAC. (2009). *ERRAC*. Obtenido de http://errac.uic.org/IMG/pdf/errac_metrolr_tramsystemsineurope-2.pdf

herodote.net. (22 de 02 de 2011). *www.herodote.net*. Obtenido de http://www.herodote.net/10_aout_1826-evenement-18260810.php



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

HESS. (2015). *HESS*. Obtenido de www.hess.com

INEC - INSTITUTO DE LA CIUDAD. (2010). *PROYECCIONES POBLACIONALES*. QUITO.

INEC. (2010). *CENSO DE POBLACION*. QUITO.

Institute for Transportation & Development Policy. (s.f.). Obtenido de <http://www.chinabrt.org/es/c/bogota.aspx>

Institute for Transportation & Development Policy ITDP. (2013, febrero 14). *The BRT Standard 2013*. Rio de Janeiro, Brasil.

Macário, I. (2012). [www.http://motordream.uol.com.br/](http://motordream.uol.com.br/). Obtenido de Motor Dream.

Metro de Madrid S.A. (2010). *Estudio de factibilidad de la primera linea del metro de Quito - Viabilidad económico - financiera*. Quito.

Metro de Panama. (2014). *Metro de Panama*. Obtenido de <http://www.elmetrodepanama.com/pdf/Metro-cuadro-gastos.pdf>

Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. (s.f.). *Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda*. Obtenido de http://www.oopp.gob.bo/uploads/FICHA_TECNICA_DEL_PROYECTO_TELEFERICO_06_03_20131.pdf

NYC Transit. (2014). *NYC Transit time table 13309*. New York.

Peru21. (s.f.). Obtenido de <http://peru21.pe/economia/metro-lima-mayo-2016-estaran-listos-primeros-5-km-linea-2-2180876>



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

RAILWAY TECHNICAL WEB PAGES. (2015). *TRAIN OPERATIONS PAGE*.

Revista Semana. (s.f.). *porque transmilenio exploto*. Obtenido de <http://www.semana.com/especiales/por-que-exploto-transmilenio/index.html>

Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones (SECTRA - CHILE). (s.f.). *"Actualización de encuestas de origen y destino"*. Santiago de Chile.

Taiwan Ministry of Transportation and Communications. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Medium-capacity_rail_transport_system

wikipedia. (s.f.). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Panam%C3%A1
wikipedia. (2012). *wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Tranvia_de_Cuenca

Wikipedia Metrobus. (s.f.). *Wikipedia Metrobus*. Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Metrobus_%28Istanbul%29

Wikipedia Mi Teleferico. (s.f.). Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Mi_Telef%C3%A9rico

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_2_\(Metro_de_Lima\)](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_2_(Metro_de_Lima))

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de http://en.wikipedia.org/wiki/Bus_rapid_transit



Tesis: Metodología para evaluación preliminar de alternativas de sistemas de transporte público

Juan Francisco Arias

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de

http://es.wikipedia.org/wiki/Metro_de_Medell%C3%ADn

wikipedia. (s.f.). *www.wikipedia.com*. Obtenido de

http://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_transit

Wikipedia/skoda. (s.f.). Obtenido de

http://en.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_15_T

Wilumsen, O. y. (s.f.). *Demanda de transporte*.

World Bank. (2014). *GDP per capita current US \$*. Washington.